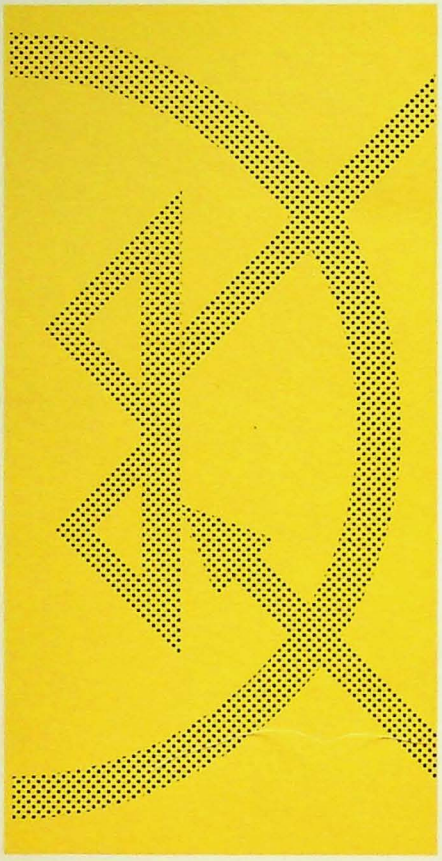


TOPP

Buchreihe Elektronik 14

Lothar Sabrowsky

Schaltungen mit Fotohalbleitern

TOPP

-Reihe »Elektronik« 14

Lothar Sabrowsky

Schaltungen mit Fotohalbleitern

Verlag Frech Stuttgart-Botnang

Wichtiger Hinweis!

Die in diesem Buch wiedergegebenen Schaltungen sind allein für Amateur- und Lehrzwecke bestimmt und werden ohne Rücksicht auf die Patentlage mitgeteilt. Bei gewerblicher Nutzung geschützter Schaltungen und Verfahren ist vorher die Genehmigung des Lizenzinhabers einzuholen. Der Verfasser haftet nicht für irgendwelche Schäden, die sich möglicherweise aus dem Nachbau der Schaltungen ergeben könnten.

2. Auflage 1970

© 1968
Verlag und Druckerei M. Frech, Stuttgart-Botnang
Druck: Frech, Stuttgart-Botnang

Inhalt

Einführung 7
Selen-Fotoelemente 9
Silizium-Fotoelemente 11
Fotodioden 12
Fototransistoren 13
Datensammlung Fotohalbleiter 14
Grundschaltungen mit Fotohalbleitern 17
Fotoelektronische Programmsteuerungen mit Lochscheiben . 21
Einfaches Lichtrelais mit Fotodiode 24
Schnelles Lichtrelais mit hoher Schaltleistung 26
Lichtrelais mit Abfallverzögerung 28
Lichtrelais mit Ansprechverzögerung bei Lichteinfall 30
Lichtblitzempfindliches Relais mit umschaltbarer Abfallverzögerung 32
NF-Vorverstärker für Lichttonabtastung 34
Lichtrelais mit Fototransistor und Schmitt-Trigger 36
Optischer Fernschalter mit Blitzlichtauslösung 38
Hochempfindliches Gewitterwarngerät bzw. Blitzlichtfernschalter 40
Optische Zielscheibe mit Fototransistor und Abfallverzögerung 42
Hochempfindliche Schranke für modulierte Strahlung 44
Optisch gegengekoppelte Lichtschranke mit Lampenschonbetrieb 46
Optisches IR-Thermometer 48
Infrarot-Schaltverstärker in Kompensationsschaltung 50
Multischranke zur Prüfung von gelochten Blechen 52
Lichtmengenmeßgerät für Blitzgeräte 54
Blitzdauermeßgerät 56
Tochterblitz mit Thyristor 58
Optische Motorsteuerung (Links- und Rechtslauf) 60
Selbsttätig zielsuchende Nachlaufsteuerung 62
Optische Nachführschaltung mit getrennter Ansprechregelung für links und rechts 64
Präzisions-Differenzfotometer mit Brückenverstärker 66
HF-Wattmeter für KW und UKW 68
Infrarot-Spürgerät (IR-Peileinrichtung) 72
Optisch-elektronische Koppelglieder 74

Weitere fotoelektronische Schaltungen:

Schaltungen mit Fotowiderständen
(Teil 12 dieser Reihe)
Schaltungen mit Fotozellen
(Teil 13 dieser Reihe)

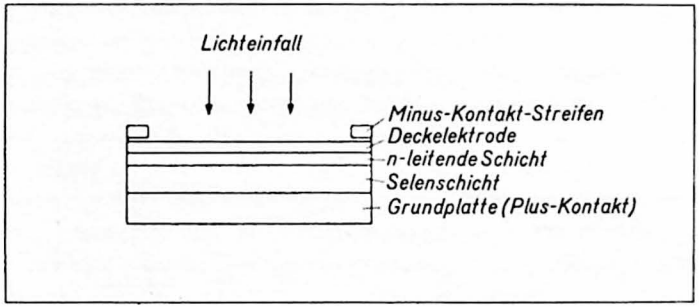
Einführung

Im 14. Band der Reihe »Elektronik« beschäftigen wir uns ausschließlich mit Fotohalbleitern, also Fotodioden, -transistoren und -elementen. Alle diese Bauteile sind niederohmig und für Transistorschaltungen besonders gut geeignet. Gegenüber Fotowiderständen ist die geringe Trägheit der Fotohalbleiter ein wesentlicher Vorteil. Es lassen sich demzufolge sehr schnelle Schaltgeräte aufbauen, die heute immer mehr in der Automation Verwendung finden. Aber auch in der Meßtechnik nehmen Fotoelemente und Fotodioden wegen ihrer Eigenschaften, wie z. B. linearer Stromanstieg bei linearem Lichtstromanstieg, hohe Empfindlichkeit und breiter spektraler Empfindlichkeitsbereich, den Vorrang ein.

Die gezeigten Schaltbeispiele lassen die prinzipielle Arbeitsweise genau erkennen und empfehlen sich deshalb vornehmlich für Versuchs- und Lehrzwecke. Es sind Schaltungen, die im Labor des Verfassers erprobt wurden, so daß ein Nachbau kaum zu Fehlschlägen führen wird. Im Interesse des experimentierenden Lesers wollen wir uns auf einige wenige verschiedene Transistorentypen und Fotohalbleiter beschränken. Es sei darauf hingewiesen, daß alle Transistorschaltungen empfindlich gegen große Temperaturschwankungen sind. Unter extremen Bedingungen kann aus diesem Grunde eine Korrektur der Schaltung erforderlich werden. Die Werte aller Widerstände wurden auf die beim Verfasser verwendeten Transistoren abgestimmt, lassen sich jedoch durchaus hier und da geringfügig abändern, insbesondere dann, wenn man typenähnliche Transistoren einsetzt.

Selen-Fotoelemente

Ein Selen-Fotoelement besteht aus einer Metall-Grundplatte, auf der eine p-leitende Selenschicht aufgebracht ist. Die dem Licht zugewandte Selenschicht ist mit einer n-leitenden Schicht überzogen; darüber liegt eine lichtdurchlässige und stromleitende Metalloxydschicht, die als Minuselektrode dient. Der Rand dieser Minuselektrode ist metallisch verstärkt und gestattet den Anschluß von Kontakten oder Drähten.
Die Abbildung zeigt den schematischen Aufbau eines Electrocell-Selen-Fotoelementes im Schnitt (übertrieben dargestellt).



Bei Lichteinfall auf die Selenschicht entsteht eine Potentialdifferenz zwischen der Selen- und der n-leitenden Deckschicht, oder anders gesagt, aus dem Selen lösen sich Elektronen, die in die vordere Deckschicht wandern und am Minuspol abgenommen werden können.
Ein Selen-Fotoelement ist demnach ein Wandler, der Lichtenergie direkt in elektrische Energie umwandelt.
Die an den Anschlüssen entstehende Spannung nennt man Fotospannung, sie erreicht theoretisch ihren höchsten Wert schon bei kleiner Beleuchtungsstärke und ist unabhängig von der Größe des Elementes. Als Richtwert für die Höhe der Foto-Leerlaufspannung sollen die folgenden Angaben über Electrocell-Selen-Fotoelemente Typ N dienen.

E Lux	U_L Volt	
10	0,14	
100	0,23	unabhängig von der Fläche
1 000	0,32	bis etwa 50 cm²
10 000	0,41	

Im Gegensatz zur Fotospannung ist der Fotostrom proportional der Beleuchtungsstärke; ebenso steigt er linear mit der Größe des Elementes an. Bei mittlerer Beleuchtungsstärke beträgt der Foto-Kurzschlußstrom etwa 0,1 µA pro Lux und cm².

Aus dem Vorgenannten kann man folgenden Schluß ziehen:

1. Wenn Selen-Fotoelemente lediglich als Kontrollorgan zwischen hell und dunkel zu unterscheiden brauchen, kann die Fotospannung zur Steuerung von Schaltgeräten herangezogen werden. Für relativ hochohmige Schaltgeräte kann das Element sehr klein sein, da kein nennenswerter Steuerstrom erforderlich ist.
2. Bei allen absoluten oder Vergleichsmessungen, wie zum Beispiel beim Belichtungsmesser, Fotometer, Farbdichtevergleich usw., muß der Fotostrom gemessen werden, d. h., das Element soll entweder mit einem sehr kleinen Außenwiderstand oder direkt mit einem niederohmigen Galvanometer betrieben werden.

Trägheit

Für Schaltungen in der Steuer- und Regeltechnik können Selen-Fotoelemente als trägheitslos angesehen werden. Zu berücksichtigen ist jedoch die verhältnismäßig große Kapazität von rund 10000 pF pro cm². Sie macht sich um so störender bemerkbar, je hochohmiger der Belastungswiderstand des Elementes ist. In niederohmigem Betrieb sind bis zu 100 Schaltungen pro Sekunde erreichbar.

Spektrale Empfindlichkeit

Die relative spektrale Empfindlichkeit eines ungeschützten Elementes reicht von unter 700 nm bis über 300 nm. Sie liegt also wesentlich breiter als die des menschlichen Auges.
Nach dem Aufbringen eines Spezial-Schutzlackes erfährt das Element einen Empfindlichkeitsabfall im kurzwelligen Bereich (UV). Elemente, von denen eine hohe UV-Empfindlichkeit verlangt wird, sind deshalb nicht durch Lack, sondern mit einer dünnen Quarzscheibe geschützt.

Näheres siehe Datensammlung Electrocell-Selen-Fotoelemente.

Silizium-Fotoelemente

Aufbau und Wirkungsweise

Silizium-Fotoelemente werden aus reinstem Silizium hergestellt. Das Ausgangsmaterial für ein Silizium-Fotoelement ist ein Silizium-Einkristall, aus dem eine dünne, etwa 0,5 mm starke Scheibe herausgeschnitten wird. Das im reinsten Zustand nichtleitende Silizium wird nun mit wenigen Arsenatomen durchsetzt und damit zu einem Halbleiter gemacht (ähnlich wie bei einem Siliziumtransistor). Im Anschluß daran muß die dem Licht zugewandte Seite aktiviert werden (z. B. mit Boratomen).
Durch die innere Verunreinigung des Siliziums mit Arsenatomen erhält man ein n-leitendes Silizium, die durch Boratome aktivierte Vorderseite dagegen wird p-leitend. Somit ist ein p-n-Übergang geschaffen, an dem bei Lichteinfall infolge des Elektronenwanderns eine Fotospannung entsteht.
Silizium-Fotoelemente zeigen einen logarithmischen Spannungsanstieg mit der Beleuchtungsstärke (im Leerlauf). Bei etwa 100 000 Lux ist die Höchstspannung von ca. 0,5 V erreicht.

Die Foto-Leerlaufspannung ist wie bei Selenelementen unabhängig von der Größe des Elementes.
Der Foto-Kurzschlußstrom ist der Beleuchtungsstärke proportional; im Gegensatz zu Selenelementen aber etwa 10mal so groß.
Weitere vorteilhafte Eigenschaften sind:
Hoher Wirkungsgrad von etwa 10%,
große Temperaturfestigkeit von —60 bis 175 °C,
hohe Konstanz,
breiter Spektralbereich,
geringe Trägheit.

Trägheit

Silizium-Fotoelemente zählen zu den trägheitsärmsten Foto-Halbleitern. Aus diesem Grunde sind sie bestens für die Aufnahme modulierter Lichtstrahlung geeignet. Die Grenzfrequenz schwankt je nach Fabrikat und Ausführung zwischen 50 und 100 kHz.

Spektrale Empfindlichkeit

Silizium-Fotoelemente zeichnen sich durch eine besonders breite Empfindlichkeitskurve aus. Sie arbeiten bei Wellenlängen von unter 1200 nm bis rund 200 nm. Das Maximum liegt im Bereich von 700—900 nm. Die vornehmliche Infrarot-Empfindlichkeit gestattet es, als Lichtquelle für Schranken und dergleichen mit Unterspannung betriebene Glühlampen zu verwenden.

Fotodioden

Der innere Aufbau von Fotodioden (egal ob Germanium oder Silizium) gleicht im wesentlichen dem der vorgehend beschriebenen Fotoelemente.

Demnach besitzen Fotodioden einen pn-Übergang, bei dem bei Lichteinfall eine Potentialdifferenz entsteht. Sie werden im allgemeinen in Sperrichtung mit einer zusätzlichen Hilfsspannung betrieben, zu der sich die durch Lichteinwirkung entstehende Fotospannung addiert.
Bedingt durch die äußerst winzigen Abmessungen des Kristalles (etwa 1 mm^2) ist der Fotostrom sehr klein. Er beträgt im Mittel etwa 5—10 $\mu A/mm^2$ bei 1000 Lux.
Fotodioden werden vorwiegend für Lochkartenabtastung oder schnelle, optisch gesteuerte Schaltgeräte verwendet. Bei allen Anlagen wird jedoch eine entsprechend helle Beleuchtung vorausgesetzt.

Die Grenzfrequenz liegt je nach Bauart bei 50—100 kHz und ist wegen der hohen Sperrschichtkapazität vom Belastungswiderstand abhängig.

Spektrale Empfindlichkeit

Für Germanium-Fotodioden liegt das Maximum der Empfindlichkeit bei ca. 1450 nm, also im bereits unsichtbaren IR-Bereich. Mit kleinerer Wellenlänge fällt der Fotostrom gleichmäßig ab und erreicht bei 400 nm etwa 20% seines Maximalwertes.
Silizium-Fotodioden haben ihr Empfindlichkeitsmaximum bei rund 800 nm (dunkelstes Rot), die obere Grenze wird hauptsächlich von der Glassorte der Linse bestimmt und liegt zwischen 400 und 600 nm. (Weitere technische Daten der verschiedenen handelsüblichen Typen siehe Datensammlung.)

Fototransistoren

Bei einem Fototransistor ist der pn-Übergang zwischen Basis und Kollektor lichtempfindlich. Die Strecke kann zunächst als Fotodiode betrachtet werden, da sie das gleiche elektrische Verhalten aufweist.

Prinzipiell kann ein Fototransistor auch als Fotodiode eingesetzt werden, wenn man den Emitter unbeschaltet läßt. Unter dem Einfluß der einfallenden Lichtstrahlung wandern Elektronen vom Kollektor in die Basis und bewirken ein erhöhtes Basispotential. Damit wird der Emitter zur verstärkten Stromaufnahme angeregt, was einen Anstieg des Kollektorstromes zur Folge hat. Der Fototransistor übernimmt also gleichzeitig die Funktion einer Fotodiode und die eines Transistors. Vergleicht man unter gleichen Bedingungen den Fotodiodenstrom mit dem des Fototransistors, so ist eine etwa 100fache Stromverstärkung festzustellen.

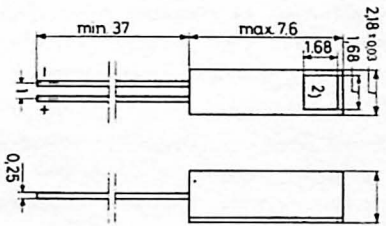
Die Doppelfunktion im Fototransistor ist allerdings auch mit Nachteilen behaftet. Da nämlich zunächst die Basis und darauf erst der Emitter angeregt wird, ergibt sich eine größere Zeitspanne, als bei einer Fotodiode allein. Das zeitliche Nachhinken des Elektronenflusses wirkt sich als nicht geringe Trägheit aus, wodurch der Anwendungsbereich der Fototransistoren erheblich eingeengt wird. Für modulierte Lichtstrahlung ist beispielsweise die obere Grenzfrequenz des VALVO-Typs OCP 70 etwa 3 kHz.
Fototransistoren werden aus Germanium oder Silizium hergestellt. Sie unterscheiden sich voneinander in erster Linie durch ihre Polarität, spektrale Empfindlichkeit und Temperaturstabilität.
Der Germanium-pnp-Typ OCP 70 (VALVO) verfügt über eine hohe Infrarot-Empfindlichkeit. Er ist daher gut als IR-Indikator für optische Thermometer geeignet. (Technische Daten siehe Datensammlung.)

Datensammlung

Elektrische Daten einiger VALVO-Foto-Halbleiter

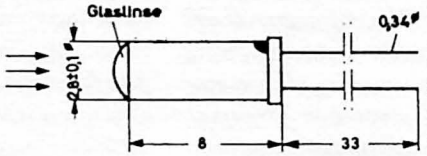
Silizium-Fotoelement BPY 10

Kenndaten bei t_{ugb} = 25 °C
Wirksame Fläche = 2,8 mm²
Maximum der spektralen Empfindlichkeit = bei 0,8 nm
Kurzschlußstrom bei Farbtemperatur T_f = 2700 °K
E = 2000 Lux I_K = 32 (15...50) µA
E = 10000 Lux I_K = 160 µA
Dunkelstrom bei $-U_D$ = 1 V
t_{ugb} = 25 ° C I_0 = 0,35 µA
" = 75 ° C I_0 = 8,5 µA
" = 100 ° C I_0 = 40,0 µA
Grenzfrequenz f_{max} ≧ 50 kHz
Sperrschicht-Kapazität bei U_D = 0 max. 1 nF
Grenzdaten (absolute Werte)
I_D = max. 10 mA
$-U_D$ = max. 1 V



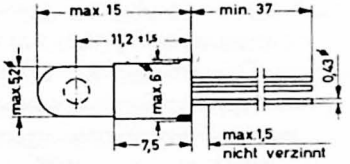
Germanium-Fotodiode OAP 12

Kenndaten bei t_{ugb} = 25 °C
Wirksame Fläche = 1 mm²
Maximum der spektralen Empfindlichkeit = bei 1430 nm
Empfindlichkeit s (Farbtemp. 2500 °K) ≧ 5 µA/100 Lux
Dunkelstrom bei U_D = 10 V ≦ 15 µA
Grenzfrequenz ≧ 50 kHz
Grenzdaten (absolute Werte)
$-U_D$ = max. 30 V
$-I_D$ = max. 3 mA
N_D = max. 30 mW

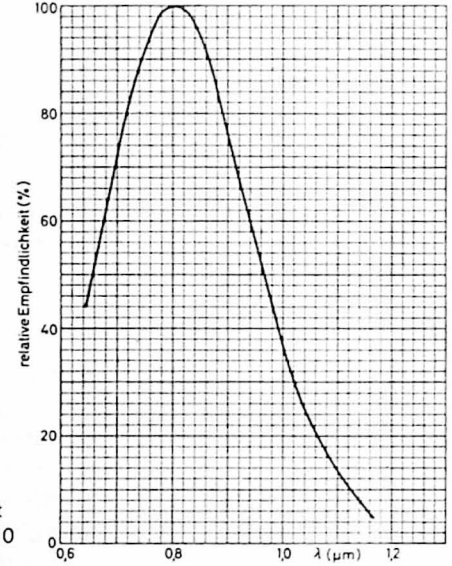


Germanium-PNP-Fototransistor OCP 70

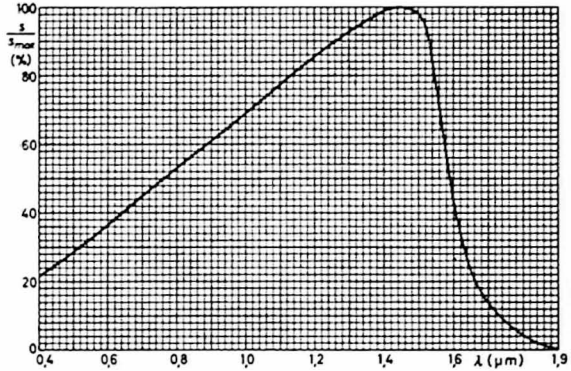
Kenndaten bei t_{ugb} = 25 °C
Wirksame Fläche = 7 mm²
Maximum der spektralen Empfindlichkeit = bei 1430 nm
Empfindlichkeit s (bezogen auf 7 mm²) ≧ 130 mA/lm
Dunkelstrom bei $-U_{CE}$ = 4,5 V, I_B = 0: $-I_{C0}$ ≦ 325 µA
Hellstrom bei $-U_{CE}$ = 2 V
Farbtemperatur 2700 °K
E = 807 Lux in Vorzugsrichtung: $-I_C$ ≧ 750 µA
Grenzfrequenz f_{max} = 3 kHz
Grenzdaten (absolute Werte, t_{ugb} = 45 °C)
$-U_{CB}$ = max. 15 V
$-U_{CE}$ = max. 15 V, abhängig von R_{BE}
$-I_C$ = max. 20 mA



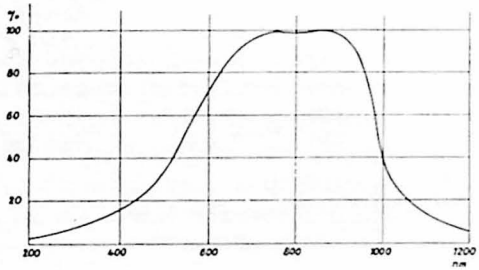
Relative spektrale Empfindlichkeit verschiedener Foto-Halbleiter



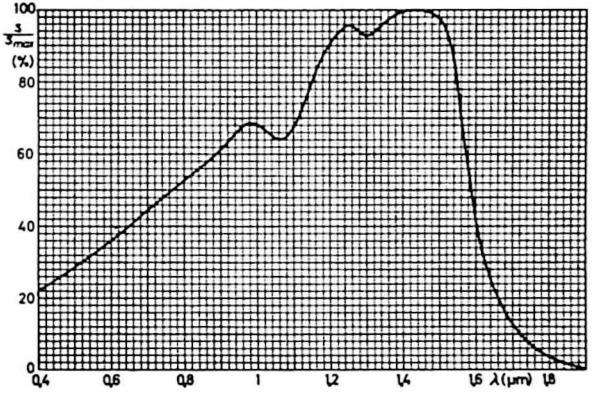
Silizium-Fotoelement
VALVO Type BPY 10



Germanium-Fotodiode, VALVO Type OAP 12



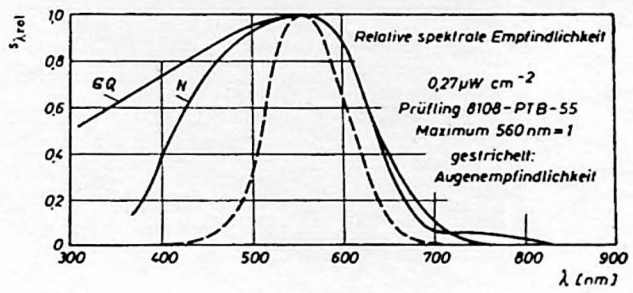
Silizium-Fotoelement,
Dr. Lange, Berlin



Germanium-Fototransistor, VALVO Type OCP 70

Technische Daten einiger handelsüblicher Electrocell-Selen-Fotoelemente

Spektraler Bereich	mechanische Daten				
	Nr.	Plattengröße in mm	Nutzfläche in mm	Nutzfläche in cm^2	Gewicht in g
Typ N: normale Ausführung	710*	10 rund	5 rund	0,2	0,7
Typ AF: durch Filter der IBK-Kurve angepaßt	718*	18 rund	13 rund	1,3	1,9
Typ A: liegt ohne Filter annähernd an der IBK-Kurve	780*	25 rund	20 rund	3,15	3,3
Typ G: hohe Empfindlichkeit im blauen und nahen UV-Bereich	732*	32 rund	27 rund	5,7	6,4
Typ GQ: Element mit Quarzfenster für UV-Messungen ab 230 nm	735	35 rund	30 rund	7,2	8,2
Typ D: für Ölfeuerungen	781*	45 rund	40 rund	12,6	13
	782*	67 rund	62 rund	30	32,1
	792*	102 rund	95 rund	71	61
	860	10 x 16	9,5 x 12,5	1,2	1,1
	861	10 x 24	9,5 x 21,5	2,0	1,6
	876	11,4 x 42	11 x 37	4,1	3,0
	878	14 x 36	13,5 x 31	4,2	3,2
	880	22 x 40	16 x 34	5,4	6,0
	883	37 x 50	31 x 46	14,2	15,3
	884	16,5 x 37	14,5 x 30,5	4,4	3,8
	885	26 x 51	20 x 46	9,2	11,5
	886	33 x 42,4	28 x 39,5	11,2	12,2
	888	18 x 55	16 x 49	7,8	6,7
	890	50 x 110	44 x 104	45,7	73



* nach DIN 44 032

Grundschaltungen mit Fotohalbleitern

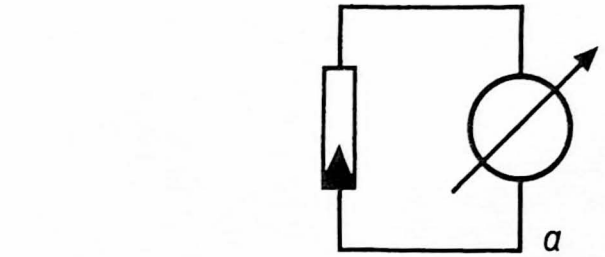
Bevor wir uns komplizierten Schaltungen zuwenden, ist es erforderlich, mit den Grundschaltungen der verschiedenen Foto-Halbleiter vertraut zu sein. Die nachstehenden 11 Beispiele sollen die typischen Schaltungstechniken zeigen und kurz erläutert werden.

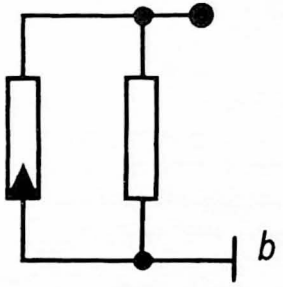
Fotoelemente

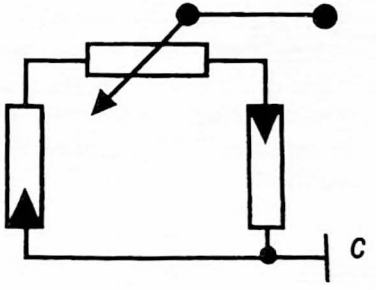
a) Das Fotoelement (Selen oder Silizium) erzeugt bei Beleuchtung einen Fotostrom, der mit dem Meßgerät gemessen werden kann. Hat das Meßinstrument einen kleinen Innenwiderstand (Kurzschlußbetrieb), ist der Fotostrom proportional dem Lichtstrom. Diese Anordnung läßt sich gut als Belichtungsmesser verwenden.

b) Das Fotoelement ist mit einem niederohmigen Widerstand überbrückt. Infolge des Fotostromes fällt an R eine Spannung ab, die wiederum annähernd proportional dem Lichtstrom ist.

c) Zwei Fotoelemente sind entgegengesetzt gepolt und arbeiten auf ein Potentiometer. Die Fotospannungen werden also kompensiert, wenn beide Elemente gleich stark beleuchtet werden. Ist dies nicht der Fall, so entsteht am Schleifer des Potentiometers eine positive oder negative Spannung, die weiter verstärkt und angezeigt werden kann.

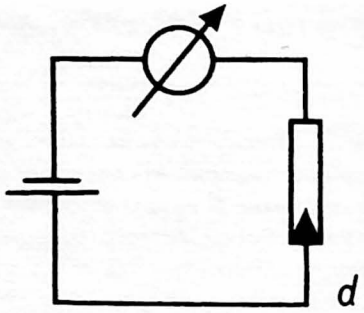




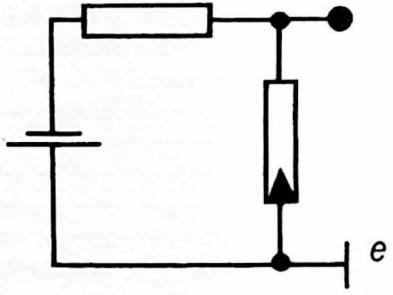


Fotodioden

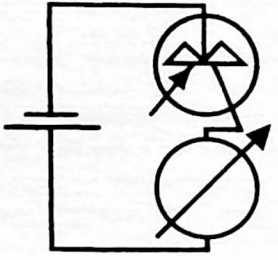
d) Fotodioden werden grundsätzlich mit einer Hilfsspannung betrieben. Der Fotostrom steigt linear mit der Beleuchtung. Er kann mit einem Mikroamperemeter (10 µA) gemessen werden.



e) Bei Reihenschaltung einer Fotodiode mit einem Widerstand erhält man einen Spannungsteiler, dessen Teilerverhältnis von der Beleuchtung abhängt. In der gezeigten Anordnung nimmt die Ausgangsspannung ab, wenn Licht auf die Fotodiode fällt.



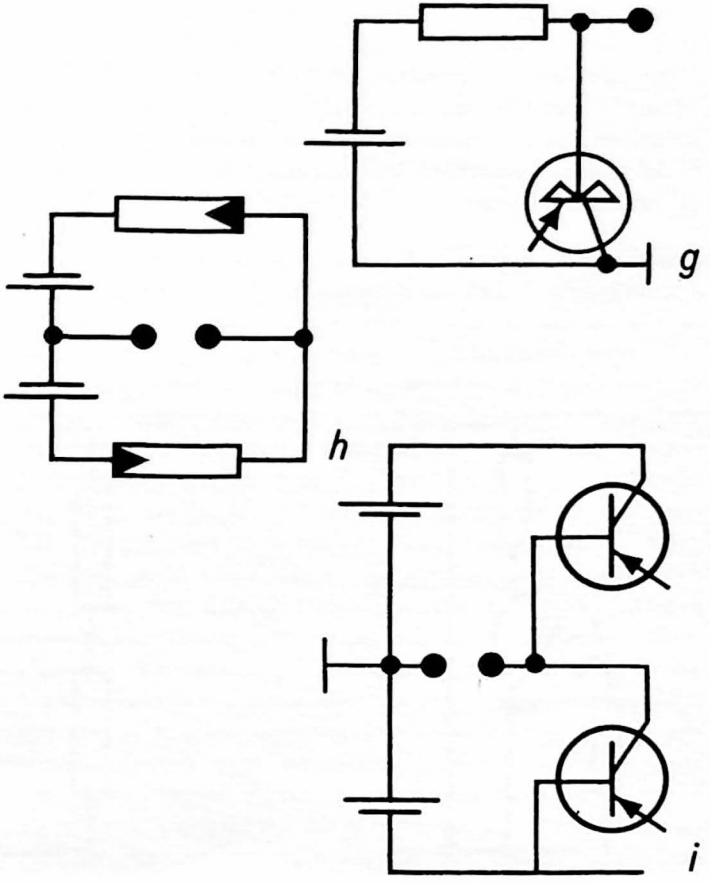
f) Jeder Fototransistor läßt sich auch als Fotodiode benutzen. Der Kollektor muß bei einem PNP-Typ eine negative Spannung erhalten. Die 2. Elektrode ist der Basisanschluß, der Emitter bleibt frei. Mit dem Mikroamperemeter (10 µA) kann der Fotostrom gemessen werden.



g) Die Funktion dieser Schaltung entspricht der von Schaltung e, es wurde jedoch die Diodenstrecke eines Fototransistors benutzt.

h) Die beiden Fotodioden werden in Kompensations- oder Brückenschaltung betrieben. Am Ausgang heben sich demzufolge die Spannungen auf, wenn beide Fotoströme gleich sind. Ungleiche Beleuchtung erzeugt eine Brückenspannung von positiver oder negativer Polarität.

i) Hier arbeiten die Diodenstrecken zweier Fototransistoren in Kompensationsschaltung gemäß Schaltbild h. Diese Anordnung hat gerade bei Fototransistoren den Vorteil, daß thermisch bedingte Fotostromänderungen aufgehoben werden.

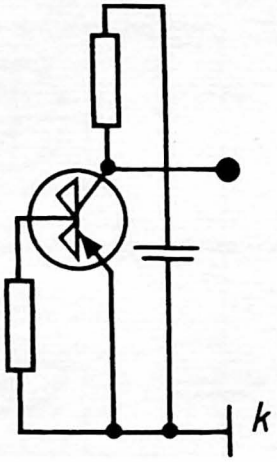


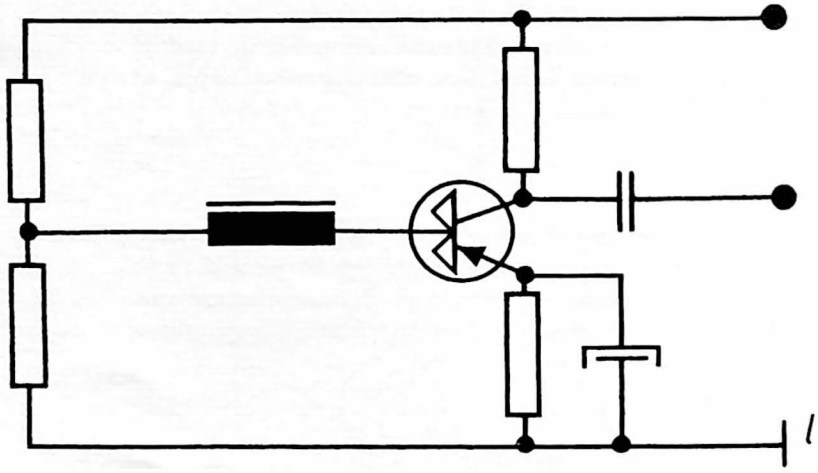
Fototransistoren

k) In dieser Schaltung arbeitet der Fototransistor als lichtgesteuerter Schalter. Unbelichtet zieht der Kollektor keinen Strom, die Ausgangsspannung ist daher gleich der Betriebsspannung. Bei starker Beleuchtung wird der Transistor leitend, und die Kollektorspannung bricht zusammen.

l) Eine derartige Schaltung ist zum Aufnehmen modulierter Lichtstrahlung bis maximal 3 kHz geeignet. Der Fototransistor arbeitet wie eine normale NF-Stufe. Zur thermischen Stabilisierung ist ein Emitterwiderstand eingeschaltet, der mit einem Kondensator überbrückt ist, um eine wechselstrommäßige Gegenkopplung zu vermeiden.

Die Drossel verhindert, daß die schwachen Basis-Wechselströme von dem relativ niederohmigen Spannungsteiler zu stark belastet werden.





Fotoelektronische Programmsteuerungen mit Lochscheiben

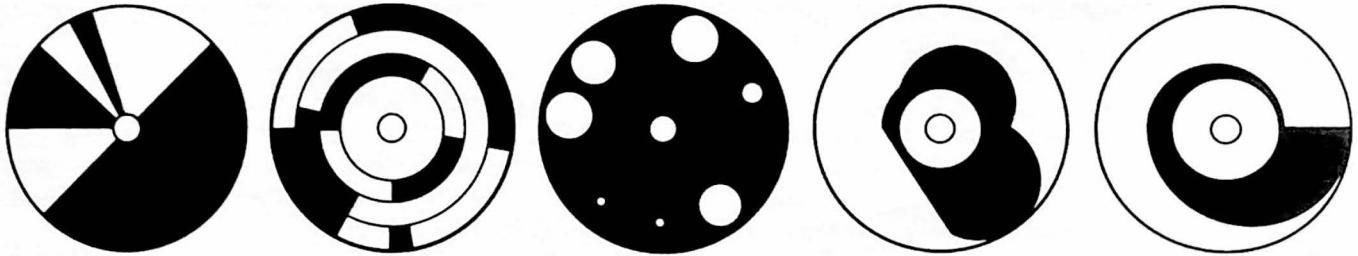
Wie vielseitig heutzutage elektronisch gesteuerte Automaten eingesetzt werden, wird einem bewußt, wenn man nur an einige Haushaltseinrichtungen denkt, wie z. B. Wasch-Vollautomaten, Geschirrspülmaschinen, automatische Elektroherde u. v. a. m. In allen diesen Geräten ist eine Programmsteuerung eingebaut, die einen einmal vorbestimmten Arbeitsablauf ständig wiederholen kann. Derartige Programmgeber sind in der Regel mit einem Synchronmotor gesteuert, der dann mit hoher Genauigkeit eine Nockenwelle dreht. Mittlerweile hat sich diese einfache Konstruktion millionenfach bewährt, wenngleich sie auch einer regelmäßigen Wartung unterliegt; denn Kontaktverunreinigungen, hervorgerufen durch Feuchtigkeit, Staub und Korrosion, geben häufig Anlaß zu Störungen. Der derzeitige Stand der Elektronik erlaubt es jedoch, solche Steuerungen einfacher, zuverlässiger und universeller aufzubauen — ein gutes Beispiel dafür ist der optisch gesteuerte Programmgeber mit Programm-Scheiben.

Anwendung und Arbeitsweise

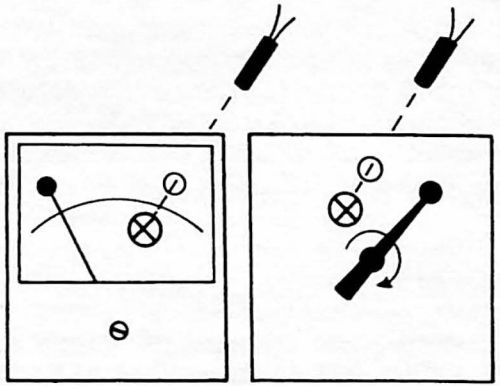
Das Arbeitsprinzip ist denkbar einfach. Zwischen einer kleinen Gabelschranke dreht sich eine von einem Synchronmotor angetriebene Scheibe, die je nach Bedarf schwarze und durchsichtige Sektoren enthält. Die dunklen Flächen bewirken ein Abfallen der Schranke, die durchsichtigen ein Einschalten.

Abb. a zeigt eine Scheibe, die aus Kunststoff besteht und drei verschiedene Einschaltimpulse liefert. Sollen mehrere voneinander unabhängige Stromkreise in zeitlich festgelegter Folge geschaltet werden, so kann man beispielsweise die Scheibe in Abb. b verwenden. Auf ihr sind drei Ringe aufgezeichnet, die sich beliebig einteilen lassen. Jeder Ring enthält also ein bestimmtes Programm. Für die Beleuchtung genügt eine einzige Lampe, zum Abtasten der einzelnen Ringe sind jedoch drei Fotodioden erforderlich, die unmittelbar hinter der Scheibe anzuordnen sind. Die einfachste Möglichkeit, Programmscheiben herzustellen, ist in Abb. c zu sehen. Als Material ist jedes Metall oder undurchsichtiger Kunststoff zu gebrauchen. Statt einzelne Sektoren zu zeichnen, sind hier nur einfache Löcher zu bohren, wobei der Lochdurchmesser die Länge der Einschaltdauer bestimmt. Die Lochscheiben haben den Vorteil, daß sie nicht verstauben können und, da sie aus Metall sein dürfen, zudem sehr formbeständig sind.

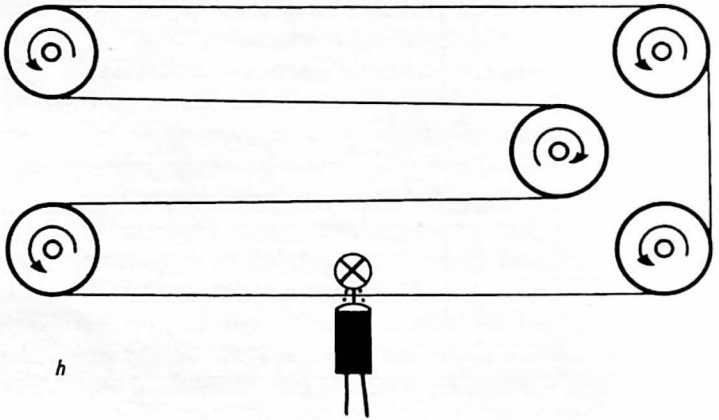
Gegen ein Verstauben der Fotodiode kann hinter einem dunklen Sektor der Lochscheibe ein kleiner Filzlappen



a *b* *c* *d* *e*



f *g*



h

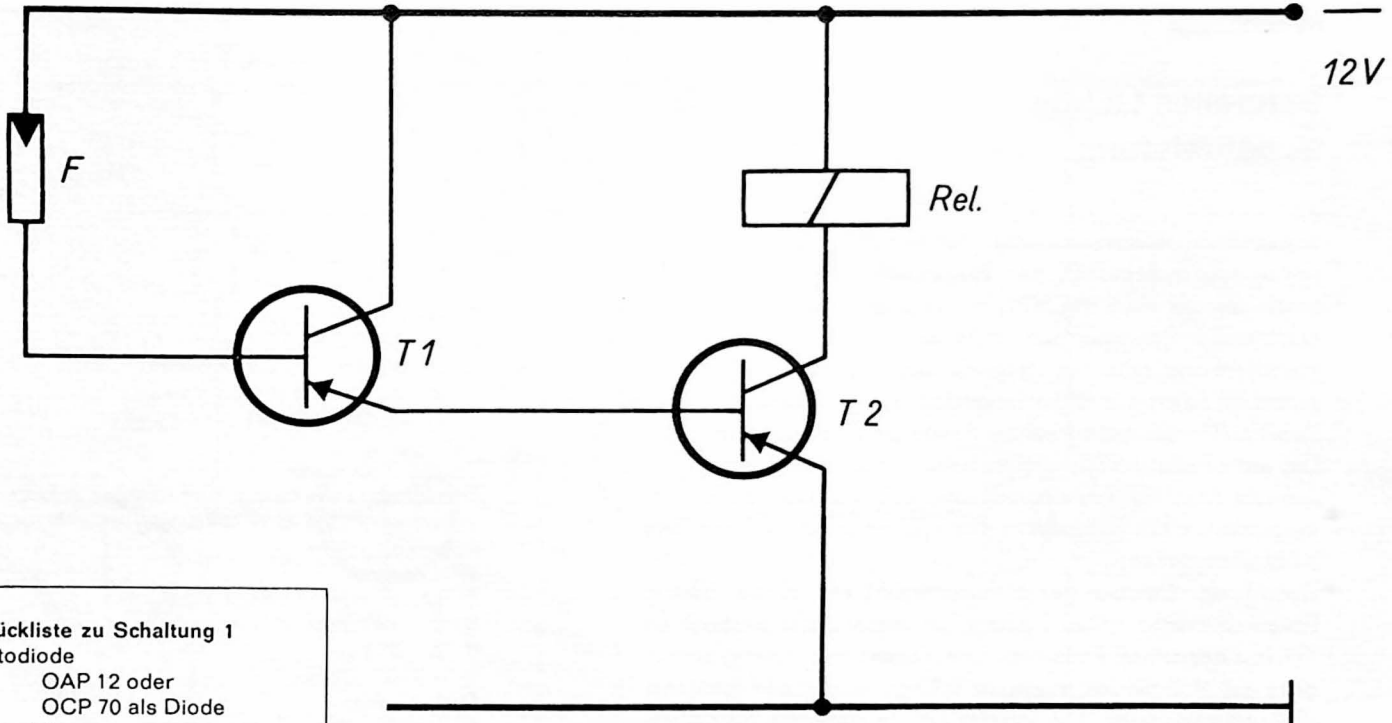
angebracht werden, der bei jeder Motorumdrehung über die Glaslinse der Diode wischt.

Nicht immer sind auf einer kleinen Scheibe alle nötigen Schaltbefehle unterzubringen, insbesondere dann nicht, wenn in einer verhältnismäßig kurzen Zeit eine große Anzahl von Schaltimpulsen erforderlich wird, und darauf lange Pausen folgen. Das Auflösungsvermögen einer Scheibe ist nämlich durch die Größe der Fotodiode von vornherein begrenzt. Es wäre zwar möglich, die Auflösung durch große Scheiben zu verbessern, doch erhält man schnell Dimensionen, die nicht ohne weiteres unterzubringen sind. Hinzu kommt eine nicht unerhebliche Trägheit der Scheibe, die beim Anlaufen des Motors nachhinkende Schaltzeiten verursacht.
Einen besseren Weg zeigt die Abb. h auf. Hier läuft ein durchsichtiges Kunststoffband als endlose Schleife. Die jeweiligen Schaltimpulse sind durch Schwärzen des Bandes zu erreichen. Selbstverständlich können mit einem einzigen Band auch mehrere Stromkreise geschaltet werden (genau wie bei Scheibe b). Zu diesem Zweck wird das Band einfach in mehrere Spuren unterteilt und jeder Spur die gewünschte Information gegeben. Die Abtastung muß wieder mit getrennten Fotodioden erfolgen. Als Lichtquelle für Ein- und Mehrspurbetrieb ist eine Soffittenlampe geeignet, die senkrecht zur Bandrichtung angebracht wird.
Programmscheiben können nicht nur Schaltimpulse, sondern auch eine kontinuierliche Ausgangsspannung erzeugen, deren Kurvenform sich vorbestimmen läßt. Umgekehrt kann man aus der Höhe der Ausgangsspannung schließen, in welcher Stellung die Scheibe gerade steht. Hierfür einige Beispiele:
Eine Mischmaschine soll während eines Arbeitsablaufes die Zufuhr von, nehmen wir an, Wasser genau dosieren, wobei es darauf ankommt, daß die Wasserzufuhr in bestimmten Zeitabschnitten unterschiedlich stark sein muß. Ähnliche Aufgaben werden übrigens auch an Abfüllautomaten gestellt.
Zur kontinuierlichen Dosierung kann die Scheibe d benutzt werden. Sie wird von vorne stark beleuchtet und dreht sich langsam. Hinter der Scheibe ist eine mit einem schmalen, radialen Schlitz versehene Blende angeordnet. Die durch den Schlitz fallende Lichtmenge wird von einem Fotoelement aufgefangen, welches nun einen dem Lichtstrom proportionalen Fotostrom erzeugt. Dabei muß das Element natürlich so groß sein, daß der gesamte Schlitz ausgenutzt werden kann. Dreht sich jetzt die Scheibe, so schwankt entsprechend der Schwärzung auch der Fotostrom, der dann nach Verstärkung ein Regelorgan (z. B. ein Ventil) betätigen kann.
Die Scheibe e bewirkt bei einer Umdrehung einen linearen Sägezahn am Fotoelement. Anhand des momentanen Fotostromes ist es jederzeit möglich, die Achsenstellung des Motors zu ermitteln. Das Prinzip kann u. a. bei fernzubedienenden Antennenrotoren angewendet werden.

In Abb. f ist ein Meßgerät gezeigt, dessen Skalenblatt durchbohrt, und unter dem eine Fotodiode angebracht ist. Vor dem Skalenblatt befindet sich eine Lampe.
Wenn der Zeiger ausschlägt und das Loch im Skalenblatt verdeckt, wird die mit einem Schaltverstärker gekoppelte Fotodiode dunkel.
Ein solches Gebilde kann vielseitig eingesetzt werden, so z. B. als automatische Meßbereichumschaltung, empfindliches Relais für wenige µA, Endschalter in Steueranlagen, Maxima-Minima-Schalter und v. a. m. Vom Verfasser wurde u. a. folgendes Gerät damit aufgebaut: Eine Antennengemeinschaftsanlage, die sich nur dann einschaltet, wenn ein Fernsehsender arbeitet.
Dazu war es lediglich notwendig, die Ausgangsspannung eines einstufigen Vorverstärkers zu demodulieren und die gewonnene Gleichspannung dem Instrument (10 µA) zuzuführen. Das Loch muß in diesem Falle unter dem Nullpunkt des Zeigers angebracht werden. Sobald der Fernsehsender einschaltet, bewegt sich der Zeiger aus der Ruhelage, und die Fotodiode wird beleuchtet.
In Abb. g wird der Zeiger eines Uhrwerkes abgetastet. Auf diese Weise kann man genaue Taktgeber herstellen, bei denen keine mechanische Abtastung erforderlich ist.

Einfaches Lichtrelais mit Fotodiode

Anwendung: Dieses Lichtrelais kann überall dort eingesetzt werden, wo eine starke Lichtquelle vorhanden ist, bzw. da, wo der Abstand zwischen Lichtsender und Lichtempfänger nur wenige Zentimeter beträgt. Das ist bei Gabel- oder Mikroschranken der Fall.
Die Schaltung arbeitet sehr schnell und ist unempfindlich gegen normale Raumbeleuchtung sowie Temperatur- und Spannungsschwankungen.
Schaltung: Die beiden in Kaskade geschalteten Transistoren wirken wie ein einziger Transistor mit sehr hoher Stromverstärkung. Es ist daher möglich, mit den wenigen Mikroampere, die die Fotodiode liefert, direkt ein Relais zu schalten. Bei unbelichteter Fotodiode ist die ganze Schaltung stromlos und das Relais abgefallen.
Da weder Kondensatoren noch Widerstände verwendet wurden, ist die Zuverlässigkeit groß. Außerdem wird beim Aufbau nur geringer Platz benötigt.



Stückliste zu Schaltung 1

Fotodiode

F OAP 12 oder
OCP 70 als Diode

Transistoren

T 1 OC 305 (ITT Intermetall)
T 2 OC 307 (ITT Intermetall)

Relais

Rel. 12 V/400 Ohm

Schaltung 2

Schnelles Lichtrelais mit hoher Schaltleistung

Anwendung: Schnell arbeitende Lichtrelais sind heute zum Universal-Baustein in der Steuertechnik geworden. Mit ihnen lassen sich berührungs- und trägheitslos alle mechanischen Bewegungen abtasten, sei es an Maschinen am Fließband oder bei Verpackungsautomaten. Selbstverständlich kann die Schaltung auch als Lichtschranke zum Zählen (Personen, fahrende Autos usw.) benutzt werden. Um ein Höchstmaß an Zuverlässigkeit zu erreichen, wurde auf alle feuchtigkeitsempfindliche und kurzlebige Bauteile verzichtet; dazu gehören in erster Linie mindere Elkos und Wickelkondensatoren.

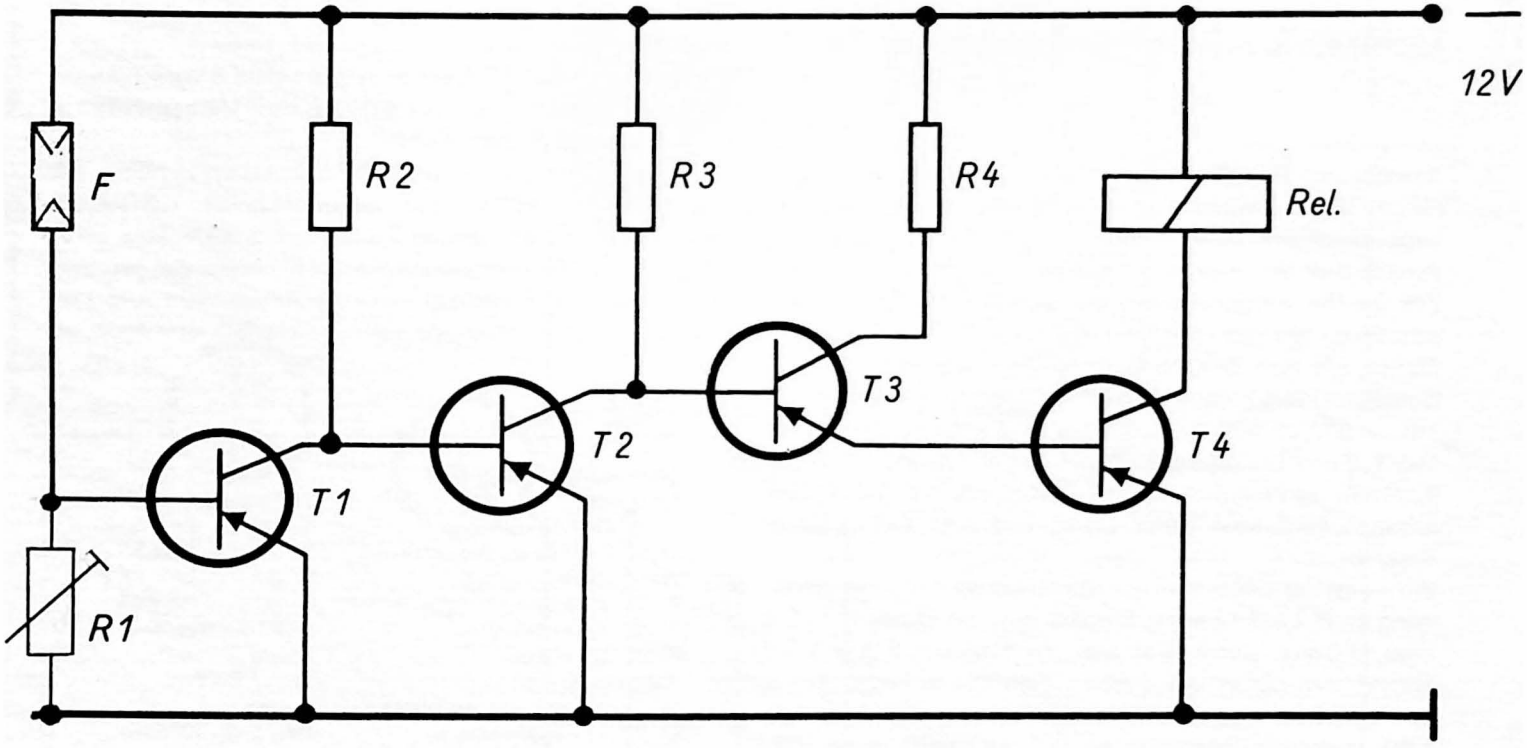
Schaltung: Die mit der Hilfsspannung (12 V) betriebene Fotodiode wird unter Lichteinfall leitend und erzeugt an T 1 ein negatives Potential. Die Kollektorspannung an T 1 geht auf Null zurück, wodurch T 2 sperrt, und der Kollektor (T 2) negativ wird. T 2 steuert den in Kaskade geschalteten Schaltverstärker T 3 und T 4, der, wenn das Relais entfällt, einen niederohmigen Verbraucher bis zu 20 W schalten kann. Bei induktiver Last muß eine Diode parallel zum Verbraucher geschaltet werden, welche die Induktionsspannung kurzschließt und so den Transistor schützt.

Stückliste zu Schaltung 2

Fotodiode
F OAP 12 oder
OCP 70 als Diode

Bestückung für Relais:
Widerstände
R 1 50 kOhm Potentiometer
R 2 22 kOhm
R 3 22 kOhm
R 4 1,2 kOhm
Transistoren
T 1 OC 305/2 (ITT Intermetall)
T 2 OC 305/2 (ITT Intermetall)
T 3 OC 305/1 (ITT Intermetall)
T 4 OC 307-309 (ITT Intermetall)
Relais
Rel. 12 V/400 Ohm

Bestückung ohne Relais, zum direkten Schalten von Verbrauchern bis 20 W (Silizium-Transistoren, Spannung +12 V):
Widerstände
R 1 50 kOhm Potentiometer
R 2 47 kOhm
R 3 22 kOhm
R 4 100 Ohm
Transistoren
T 1 BFY 39/2 (ITT Intermetall)
T 2 BFY 39/2 (ITT Intermetall)
T 3 BSY 53 (ITT Intermetall)
T 4 BDY 15 C (ITT Intermetall)
Verbraucher: minimal 5 Ohm


12V
F
R2
R3
R4
Rel.
T1
T2
T3
T4
R1

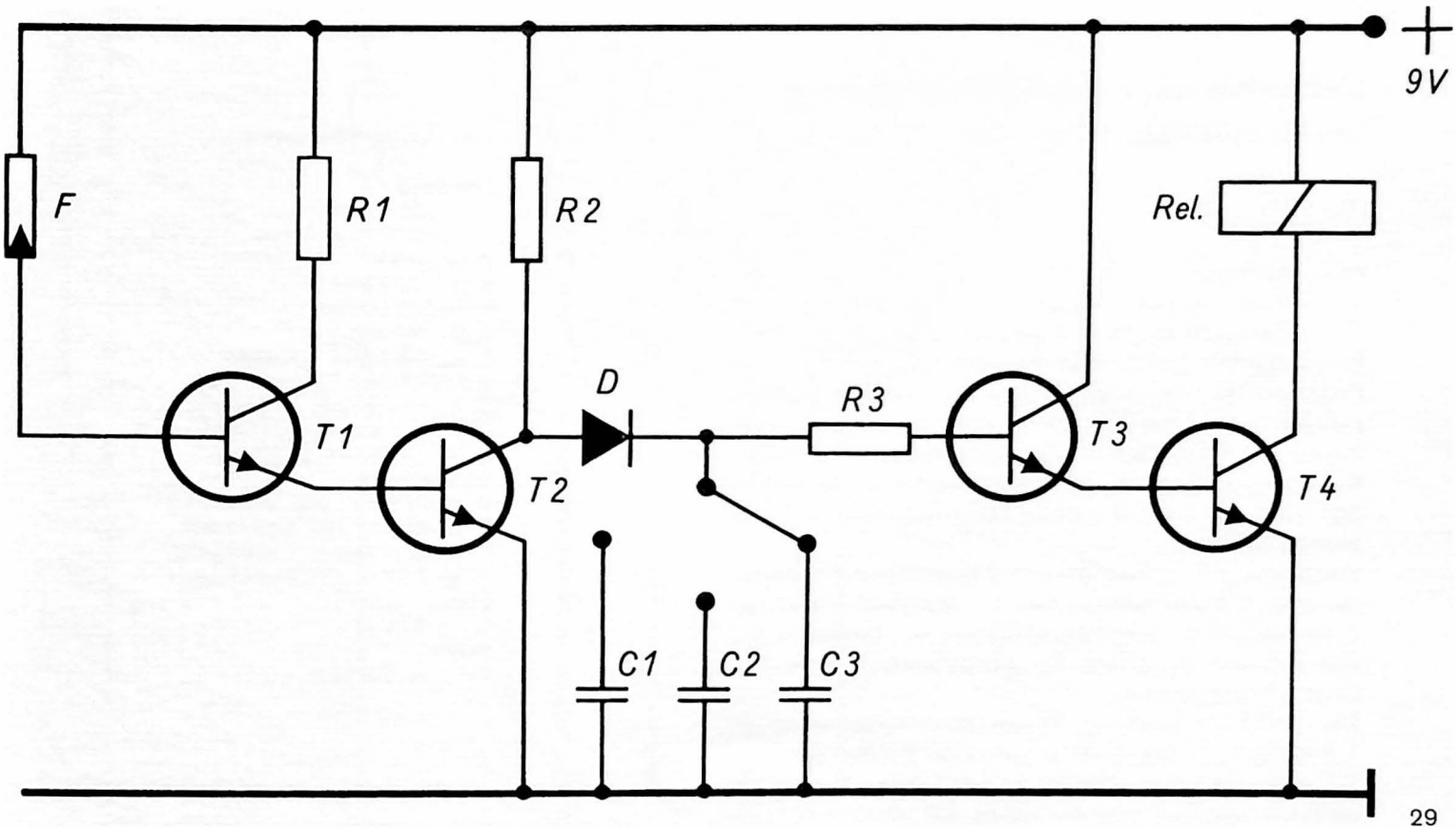
Schaltung 3

Lichtrelais mit Abfallverzögerung

Anwendung: Bei einer ganzen Reihe von Maschinensteuerungen ist es erwünscht, daß bei Lichteinfall der Betriebszustand für eine genau definierte Zeit erhalten bleibt. Erst danach darf ein neuer Arbeitsablauf einsetzen.
Die gleiche Forderung besteht übrigens auch bei Lichtschranken, die nicht auf einen kurzen Lichtblitz ansprechen dürfen, wie zum Beispiel Dämmerungsschalter.
Schaltung: Die Fotodiode gibt bei Belichtung einen Strom auf die Basis von T 1. Der in T 1 verstärkte Strom steuert nun T 2 und bringt diesen zum völligen Durchschalten, d. h., die Kollektorspannung an T 2 ist gleich Null. T 3 und T 4 erhalten also kein Steuersignal und sind darum beide stromlos.
Wird nun der Lichtstrahl unterbrochen, so steigt die Spannung an R 2 auf 12 V an. Sie lädt über die Diode C 1, C 2 oder C 3 auf. Damit wird auch die Kaskade T 3 und T 4 leitend, und das Relais zieht an. Fällt nun während dieses Betriebszustandes erneut Licht auf die Fotodiode, so bricht zwar die Spannung an R 2 zusammen, nicht aber die an dem eingeschalteten Kondensator, denn die Diode D ist dann gesperrt. Die Entladung des Kondensators erfolgt ausschließlich über R 3 und dem Transistor T 3. Nach einer bestimmten Zeit sinkt jedoch die Spannung an C unter den Wert der Schwellspannung von T 3, und das Relais fällt wieder ab.
Durch umschalten der Kondensatoren sind 3 verschiedene Zeitkonstanten möglich. Sie können den Verhältnissen in der Praxis angeglichen werden.
Von den Kondensatoren wird beste Isolation verlangt. Für Kurzzeitbetrieb sollten nur ausgezeichnete Kunststoffolientypen, und bei langen Zeiten nur erstklassige Elkos oder besser Mini-MP-Kondensatoren verwendet werden.
Funktionsablauf: Fotodiode dunkel = Relais zieht sofort an,
Fotodiode hell = Relais fällt verzögert ab.

Stückliste zu Schaltung 3

Fotodiode		Transistoren	
F	OAP 12 oder	T 1	BFY 39/2
	OCP 70 als Diode	T 2	BSY 53
Widerstände		T 3	BFY 39/2
R 1	1,2 kOhm	T 4	BSY 53
R 2	3,3 kOhm	(ITT Intermetall)	
R 3	220 kOhm	Diode	
Kondensatoren		D	BAY 17
C 1	je nach erwünschter	Relais	
C 2	Zeitkonstante	Rel.	ca. 200 Ohm
C 3	zwischen 0,1 — 50 µF		


+
9V
F
R1
R2
Rel.
D
R3
T1
T2
T3
T4
C1
C2
C3

Lichtrelais mit Ansprechverzögerung bei Lichteinfall

Funktionsablauf:

Fotodiode hell = Relais zieht verzögert an,
Fotodiode dunkel = Relais fällt sofort ab.

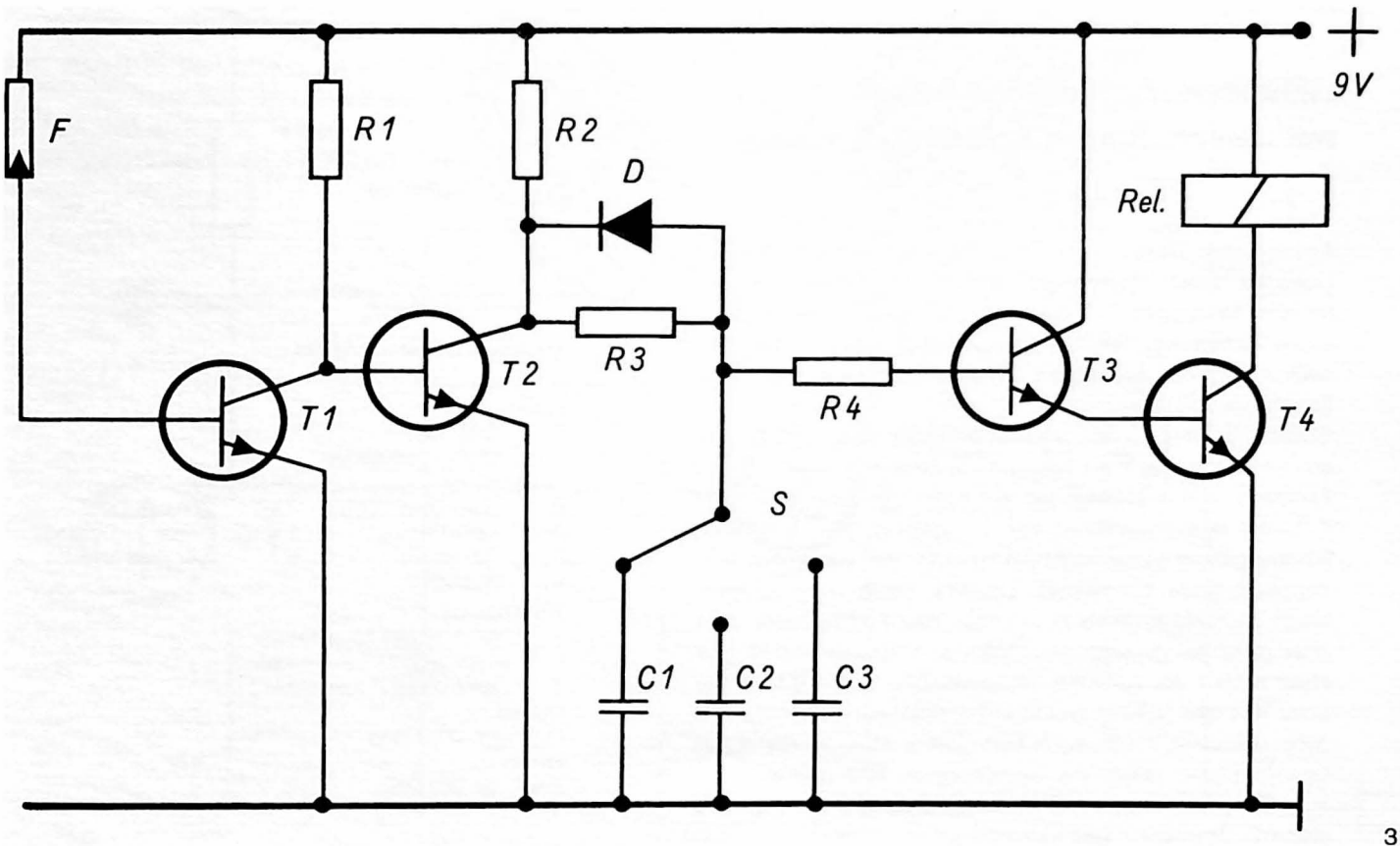
Schaltung: Die Transistoren T 1 und T 2 verstärken den Fotostrom der Fotodiode. Wegen der zweimaligen Phasenumkehrung steht an R 2 eine hohe Spannung zur Verfügung, wenn Licht auf die Fotodiode einfällt, bzw. ist die Spannung gleich Null, wenn F unbelichtet ist. Im letzten Fall erhalten T 3 und T 4 keine Steuerspannung und sind deshalb gesperrt.

Fällt Licht auf F, so kann die an R 2 entstehende Spannung nur über R 3 den Kondensator C 1 aufladen. Die Diode D ist nämlich in Sperrichtung geschaltet. Daraus ergibt sich eine von der Größe der Kondensatoren abhängige Einschaltverzögerung.

Bei Strahlunterbrechung ist die Kollektorspannung an T 2 gleich Null. Der noch aufgeladene Kondensator entlädt sich jetzt sofort über D und T 2, T 3 und T 4 werden daraufhin stromlos, und das Relais fällt ab.

Stückliste zu Schaltung 4

Fotodiode
F OAP 12 oder
OCP 70 als Diode
Widerstände
R 1 10 kOhm
R 2 2,2 kOhm
R 3 100 kOhm
R 4 220 kOhm
Kondensatoren
C 1 je nach Zeitkon-
C 2 stante zwischen
C 3 0,1 — 50 µF
Transistoren
T 1 BFY 39/2 (ITT Intermetall)
T 2 BSY 53 (ITT Intermetall)
T 3 BFY 39/2 (ITT Intermetall)
T 4 BSY 53 (ITT Intermetall)
Diode
D BAY 17
Relais
Rel. ca. 200 Ohm


F
R1
R2
D
9V
Rel.
T1
T2
R3
R4
T3
T4
S
C1
C2
C3

Schaltung 5

Lichtblitzempfindliches Relais mit umschaltbarer Abfallverzögerung

Anwendung: Besteht die Forderung, durch einen kurzen Lichtblitz einen Verbraucher (Maschine, Automat o. ä.) für eine bestimmte Zeit einzuschalten, so eignet sich dafür diese Schaltung. Sie ist so ausgelegt, daß unmittelbar nach Ablauf der Arbeitszeit ein erneuter Steuerimpuls gegeben werden kann.

Schaltung: Bei Einfall eines Lichtblitzes auf F entsteht am Kollektor von T 1 ein negativer Spannungssprung, am Kollektor von T 2 hingegen ein stark positiver, der über C 1 und D auf die Basis von T 1 gelangt. Damit ist eine Rückkopplung hergestellt, die bewirkt, daß der kurze, von der Fotodiode ausgelöste positive Basisstrom elektronisch aufrechterhalten bleibt, bis der Kondensator C 1 sich ganz aufgeladen hat. Während dieses Vorganges steht an R 3 die volle Betriebsspannung von +9 Volt, die über R 4 den Schalttransistor T 3 ansteuert. Nun, da C 1 aufgeladen ist, fließt auch kein Strom mehr in die Basis von T 1, also steigt die Spannung an R 2 und sinkt an R 3. Der Kondensator C 1 entlädt sich wieder über D 2 und T 2. Das Relais fällt ab.

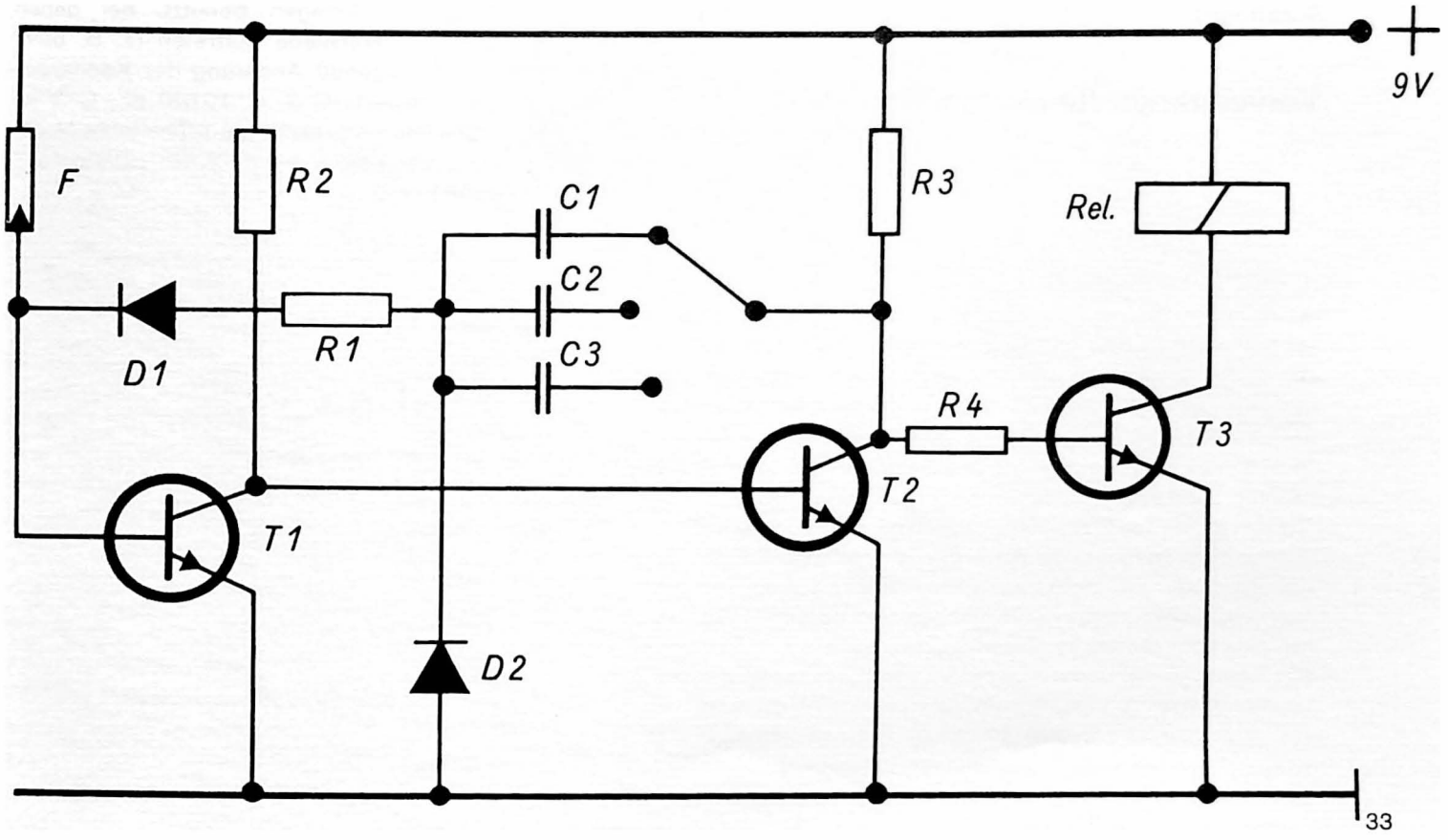
Funktionsablauf: Fotodiode dauernd hell = Relais dauernd angezogen,
Fotodiode kurzzeitig hell = Relais zieht für eine bestimmte Zeit an,
Fotodiode dunkel = Relais fällt erst ab, wenn der Rückkopplungsvorgang abgelaufen ist.

Stückliste zu Schaltung 5

Fotodiode
F OAP 12 oder
OCP 70 als Diode

Widerstände		Kondensatoren	
R 1	2,2 kOhm	C 1	je nach Zeitkonstante zwischen 0,47 und 50 µF
R 2	22 kOhm	C 2	
R 3	3,3 kOhm	C 3	
R 4	6,8 kOhm		

Transistoren
T 1 BFY 39 (ITT Intermetall)
T 2 BSY 53 (ITT Intermetall)
T 3 BSY 53 (ITT Intermetall)
Dioden
D 1 und D 2 BAY 17
Relais
Rel. ca. 200 Ohm


9V
F
R2
C1
R3
Rel.
C2
D1
R1
C3
R4
T3
T2
T1
D2

Schaltung 6

Vorverstärker für Lichttonabtastung

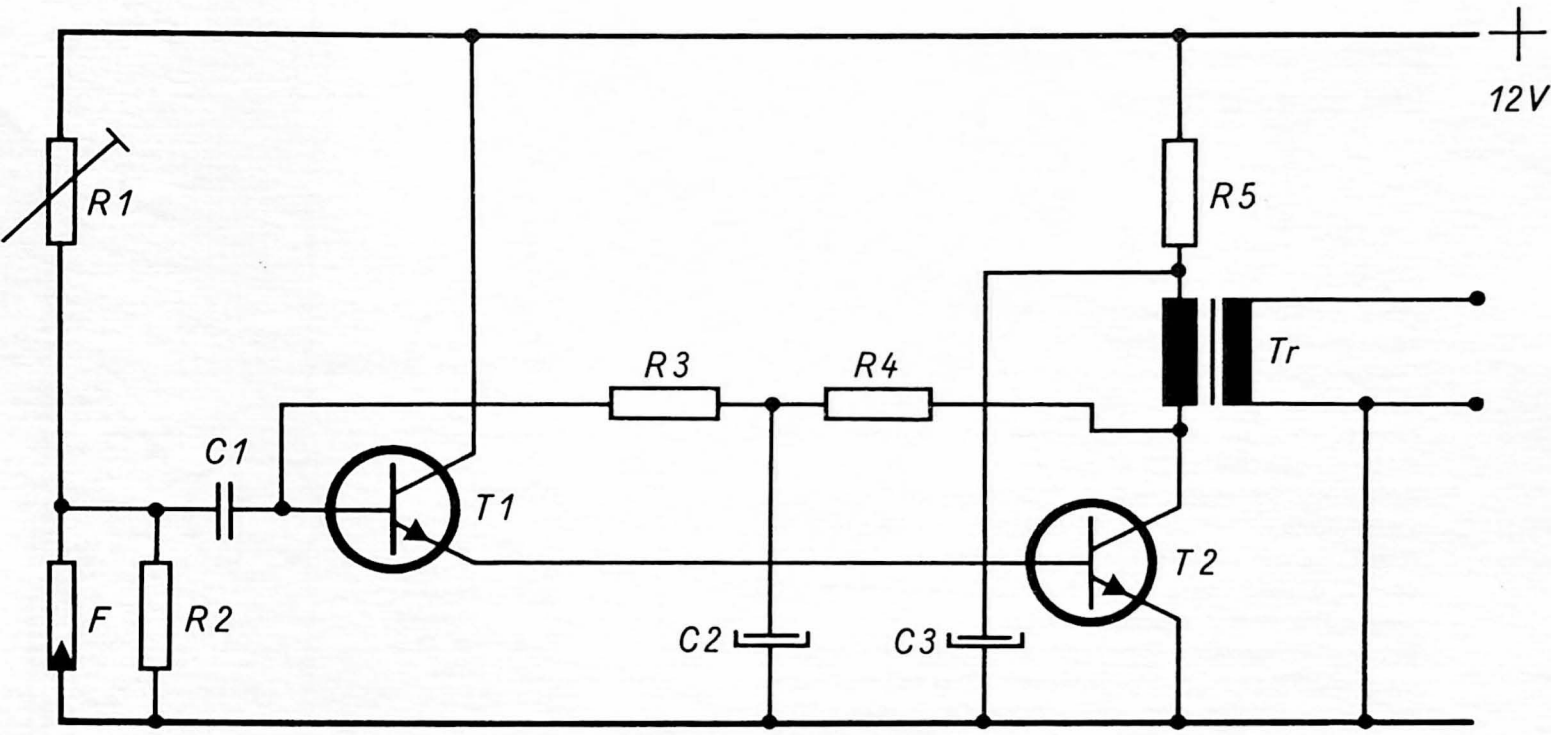
Anwendung: Dieser universell einsetzbare Foto-Vorverstärker kann sowohl für die Filmabtastung als auch für den Eingangsteil eines Lichttelefons benutzt werden. Darüber hinaus ist diese Schaltung natürlich auch für Wechsellichtschranken geeignet. In letzterem Fall sind die Anforderungen, die an den Transformator gestellt werden müssen, nicht hoch.

Schaltung: Parallel zur Fotodiode liegt ein Widerstand (R 2) mit der Aufgabe, die durch die Sperrschichtkapazität der Fotodiode hervorgerufene Zeitkonstante auf ein vertretbares Minimum zu reduzieren. In der gezeigten Anordnung liegt die obere Grenzfrequenz bei etwa 15 kHz. Der nachfolgende zweistufige, galvanisch gekoppelte Verstärker ist über R 3 und R 4 (Gegenkopplung) stabilisiert. C 2 verhindert eine wechselstrommäßige Gegenkopplung, so daß die Verstärkung (etwa 200fach) voll erhalten bleibt. Im Interesse eines geringen Klirrfaktors sollte die Ausgangsspannung nicht höher sein als 1 V eff.

Wird die Schaltung in Anlagen benutzt, bei denen erhebliche Helligkeitsunterschiede auftreten (z. B. beim Klartonverfahren), ist folgende Änderung der Kondensatorenwerte empfehlenswert: C 2 = 10 000 pF, C 3 = 25 µF. Diese Maßnahme verursacht ein schnelleres Nachregeln des Eingangstransistors, wodurch ein „Zustopfen" desselben verhindert wird.

Stückliste zu Schaltung 6

Fotodiode
F OAP 12 oder
OCP 70 als Diode
Widerstände
R 1 100 kOhm Potentiometer
R 2 10 kOhm
R 3 470 kOhm
R 4 470 kOhm
R 5 3,3 kOhm
Kondensatoren
C 1 0,1 µF
C 2 0,5 µF
C 3 100 µF
Transistoren
T 1 und T 2 BFY 39/2 (ITT Intermetall)
Transformator
Tr NF-Treibertransformator

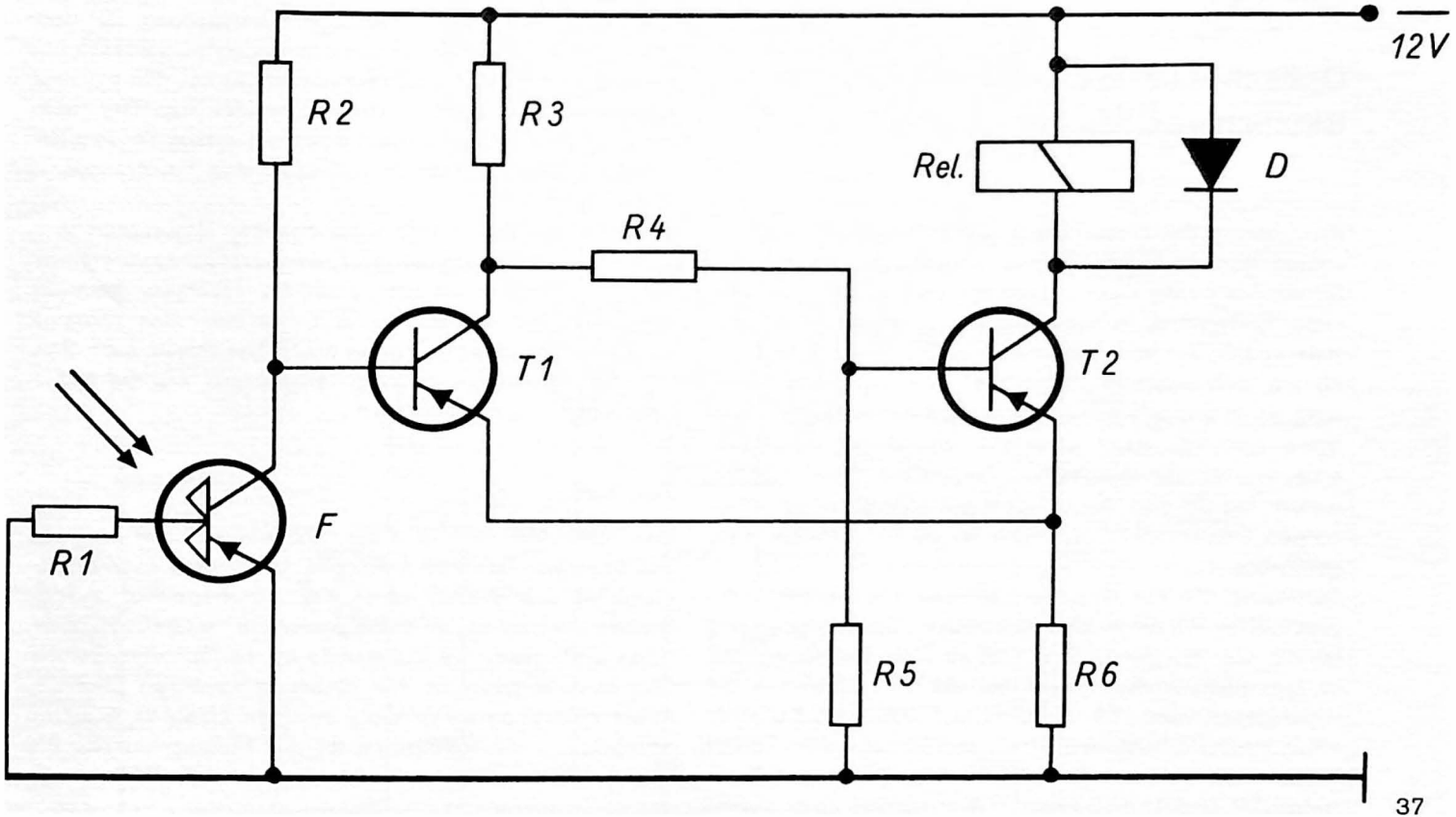

12V
R1
R5
Tr
R3
R4
C1
T1
T2
F
R2
C2
C3

Lichtrelais mit Fototransistor und Schmitt-Trigger

Anwendung: Fototransistoren sind wesentlich empfindlicher als Fotodioden und benötigen aus diesem Grunde keine so starke Beleuchtung.
Die hier gezeigte Schaltung hat einen sehr genauen Umkippunkt, der durch den nachgeschalteten Schmitt-Trigger erreicht wird. Sie ist für schnelle Schranken über mittlere Entfernungen (bis zu 10 m) gedacht.
Schaltung: Ein unbeleuchteter Fototransistor zieht nahezu keinen Kollektorstrom. An R 2 steht deshalb eine negative Spannung von einigen Volt, die unmittelbar auf die Basis von T 2 gegeben wird. Folglich schaltet T 2 durch, und T 3 sperrt. Das Relais ist also stromlos.
Bei ausreichendem Lichteinfall sinkt die Kollektorspannung des Fototransistors unter die für den Schmitt-Trigger erforderliche Mindeststeuerspannung. Die Stufen T 2 und T 3 kippen daraufhin blitzartig in den umgekehrten Schaltzustand, und das Relais zieht an. Die Leerlaufdiode D ist wegen der steilen Schaltimpulse **unbedingt** erforderlich.

Stückliste zu Schaltung 7

Fototransistor
F OCP 70
Widerstände
R 1 100 kOhm
R 2 15 kOhm
R 3 1 kOhm
R 4 22 kOhm
R 5 47 kOhm
R 6 300 Ohm
Transistoren
T 1 und T 2 OC 304/2 (ITT Intermetall)
Relais
Rel. 1000 Ohm (genau einhalten!)


12V
R2
R3
Rel.
D
R4
T1
T2
F
R1
R5
R6

Schaltung 8

Optischer Fernschalter mit Blitzlichtauslösung

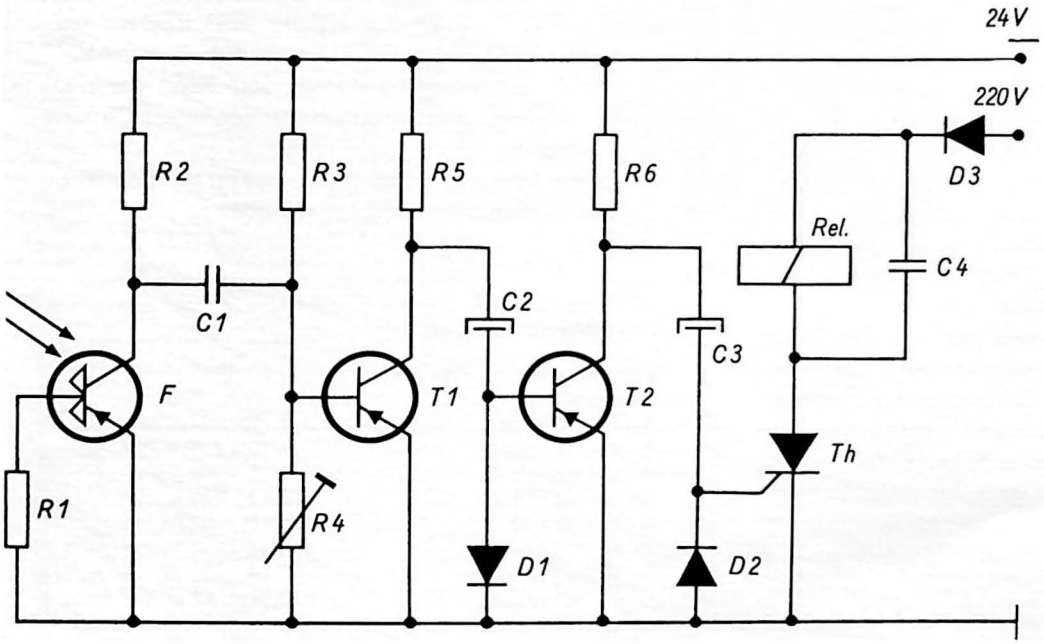
Anwendung: Für dieses Gerät gibt es eine Reihe von Anwendungsmöglichkeiten, wie beispielsweise: Garagentüröffner, Auslösung einer chemischen Reaktion aus respektvoller Entfernung, Fernzündung kleiner Sprengsätze oder jede andere Art von Fernschaltung, bei der es darauf ankommt, sich selbst in „Sicherheit" zu bringen. Die Schaltung ist so ausgelegt, daß sie nur auf extrem kurze Lichtblitze anspricht, nicht etwa auf vorbeihuschende Autoscheinwerfer und dergleichen. Gegenüber Funkfernschaltungen hat sie den Vorteil, nicht auf atmosphärische Störungen anzusprechen, dagegen ist sie bei Gewitter sehr gefährdet.

Schaltung: Ein auf den Fototransistor einfallender Lichtblitz ruft an R 2 einen kleinen positiven Spannungssprung hervor. Der Kondensator C 1 ist so klein bemessen, daß er nur einen steilen Impuls auf die Verstärkerstufe T 1 weitergeben kann. T 1 verstärkt und liefert am Kollektor einen kräftigen negativen Impuls von kurzer Dauer. Dieser Impuls wird nun auf den bisher völlig gesperrten Transistor T 2 gegeben. Da jetzt T 2 kurzzeitig ganz durchgeschaltet, bricht die Spannung an R 6 von — 24 V auf Null zusammen, also ein positiver Spannungssprung, der dann über C 3 auf den Thyristor gelangt. Dieser zündet kurz und schaltet den Fernschalter (Sprungrelais) um. Ein erneuter Blitz stellt den Ausgangszustand wieder her. Die Rückstellung der Schaltung kann auch mit einem Drucktaster erfolgen, der über Kollektor/Emitter des Fototransistors zu legen ist.

Der Thyristor-Schaltkreis kann beliebig abgeändert werden. Statt des Sprungrelais ist, wenn nur kurze Ausgangsimpulse gefordert werden, auch ein normales Wechselstromrelais zu gebrauchen. Betreibt man den Thyristor mit 220 V Gleichspannung, so bleibt das Relais nach Zündung des Thyristors so lange angezogen, bis die 220-V-Spannung unterbrochen wird.

Zum Aufbau

Die Reichweite wird in erster Hinsicht von der Leistung des optischen Systems bestimmt. Besonders gute Ergebnisse werden erzielt, wenn der Fototransistor in den Brennpunkt eines Autoscheinwerfers eingebaut wird. (Glas entfernen!) Als Lichtquelle ist ein Foto-Elektronenblitz bestens geeignet. Mit einem gebündelten Blitzlichtstrahl sind Entfernungen bis zu 2 km spielend leicht zu überbrücken. Als Blitzlampe ist der Miniaturtyp NG 200 von der Fa. Heimann zu empfehlen, da sich diese Lampe gut im Spiegel einbauen läßt.



Stückliste zu Schaltung 8

Fototransistor
F ÖCP 70

Widerstände
R 1 100 kOhm
R 2 22 kOhm
R 3 100 kOhm
R 4 50 kOhm Potentiometer
R 5 10 kOhm
R 6 3,3 kOhm

Kondensatoren
C 1 0,01 µF
C 2 0,5 µF
C 3 50 µF
C 4 0,1 µF

Transistoren
T 1 OC 469 (ITT Intermetall)
T 2 OC 309 (ITT Intermetall)

Thyristor
Th T 0,8 N3A00 (ITT)
mit Kühlstern

Dioden
D 1 BAY 17 (ITT Intermetall)
D 2 BAY 17 (ITT Intermetall)
D 3 BY 103 (ITT Intermetall)

Relais
Rel. 12 V/400 Ohm
Rel. 220 V = /10 000 Ohm
oder Fernschalter F 3
(Rapa, Selb/Bay.)

Schaltung 9

Hochempfindliches Gewitterwarngerät bzw. Blitzlichtfernschalter

Anwendung: So lächerlich es auch klingen mag, ein Gewitterwarngerät gewinnt mit zunehmender Technisierung immer mehr an Bedeutung. Dem Funkamateur ist es eine willkommene Hilfe, wenn unerwartet nachts ein Gewitter aufzieht. Noch bevor starke statische Antennenaufladungen Sender oder Empfänger zerstören können, wird man geweckt, um die Gefahr abzuwenden.

Wer oft kampiert, der wird schon manches Mal unliebsam aus dem Schlaf gerissen worden sein, „denn bisweilen bilden Güsse auf den Campingplätzen Flüsse"! Doch auch Landwirte, Kleinsiedler und Hausbesitzer können in übler Weise vom Gewitter überrascht werden; vielleicht dann, wenn irgendetwas in einer lieblichen Sommernacht zum Trocknen unter freiem Himmel steht.

Ansonsten ist das Gerät gemäß der Beschreibung zu Schaltung 8 zu verwenden.

Schaltung: Der Fototransistor arbeitet in A-Betrieb und reagiert deshalb auch auf schwache Lichtblitze. Die Basis-Drossel erhöht den Eingangswiderstand für kurze Impulse. Das positiv gerichtete Kollektorsignal wird von T 1 verstärkt und erscheint an dessen Kollektor als negativer Impuls. Ist er groß genug, schaltet sich der Schmitt-Trigger (T 2 und T 3) und damit auch T 4 ein. Gleichzeitig beginnt sich C 7 umzuladen, wodurch T 1 über D 1 während der Dauer der Umladung an der Basis einen positiven Langzeitimpuls erhält. Alle Stufen kippen erst in den Ausgangszustand zurück, wenn sich C 7 ganz aufgeladen hat.

Die Dauer der Selbsthaltung ist von dem Wert der Kondensatoren abhängig und kann nach persönlichem Wunsch festgelegt werden.

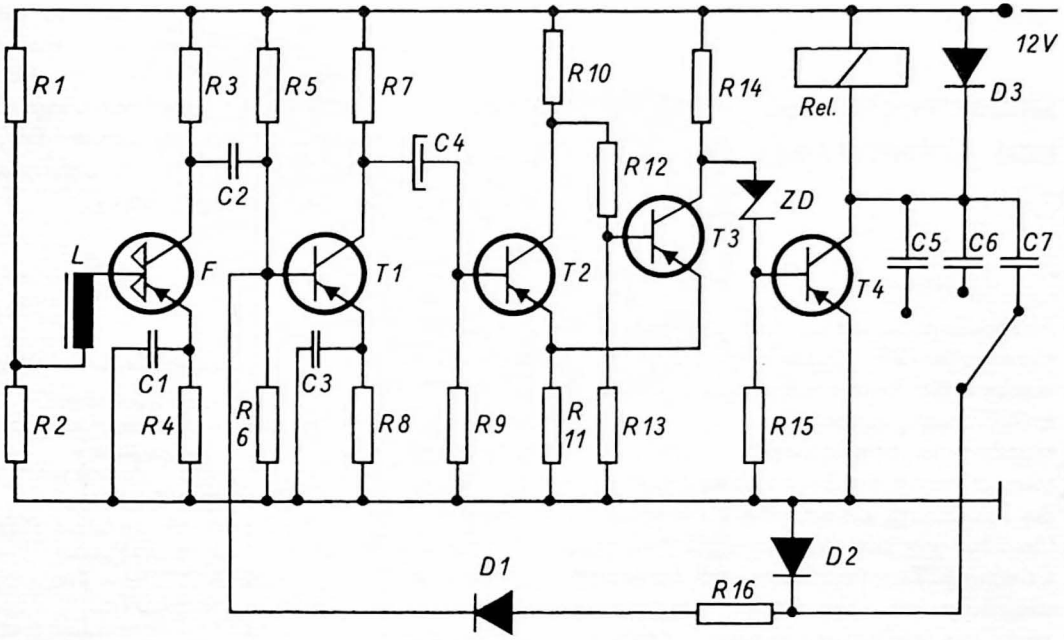
Mit dem Relais können nun Klingeln, Hupen oder sonstige Geräuschmaschinen eingeschaltet werden.

Stückliste zu Schaltung 9

Fototransistor F OCP 70

Widerstände

R 1	82 kOhm	R 9	47 kOhm
R 2	15 kOhm	R 10	1 kOhm
R 3	2,2 kOhm	R 11	300 Ohm
R 4	10 kOhm	R 12	22 kOhm
R 5	47 kOhm	R 13	47 kOhm
R 6	12 kOhm	R 14	1 kOhm
R 7	4,7 kOhm	R 15	22 kOhm
R 8	3,3 kOhm	R 16	22 kOhm



Kondensatoren	Transistoren	Relais
C 1, C 3 1 µF	T 1 OC 305/1	Rel. 200 Ohm
C 2 0,1 µF	T 2 OC 304/2	
C 4 50 µF	T 3 OC 304/2	Drossel
C 5 je nach Zeit-	T 4 OC 307 — 308 — 309	L NF-Drossel z. B.:
C 6 konstante	(ITT Intermetall)	Schalenkern P 18/11 o. Luftspalt (Valvo)
C 7 1–50 µF	Dioden D 1 — D 3 BAY 17	mit 0,1 mm Lackdraht vollwickeln

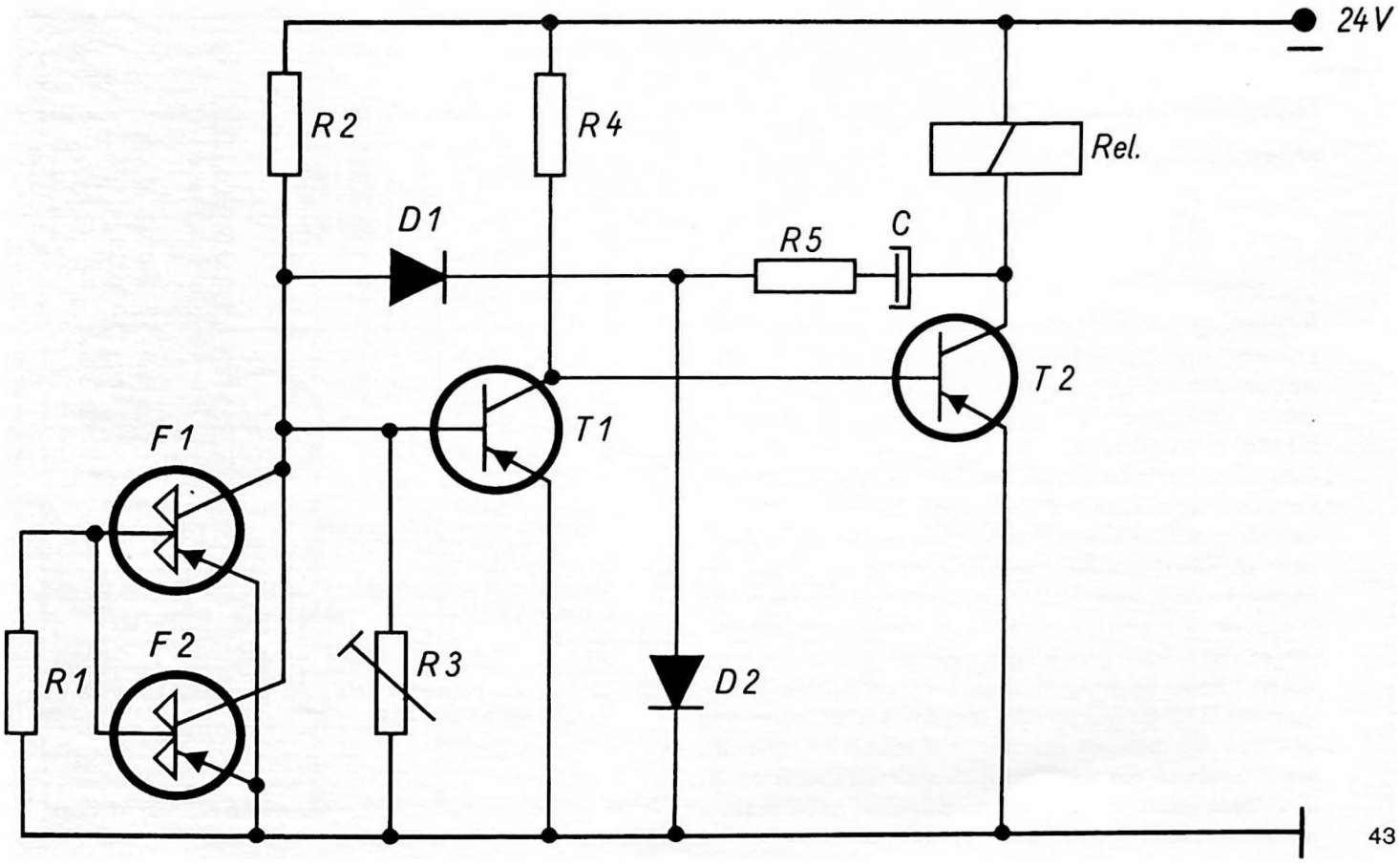
Schaltung 10

Optische Zielscheibe mit Fototransistor und Abfallverzögerung

Anwendung: In dieser Anlage werden zwei gebündelte Lichtquellen so angeordnet, daß sich die Lichtbündel kreuzen. Bei Unterbrechung des Schnittpunktes wird ein Schaltvorgang ausgelöst.
Montiert man beispielsweise die beiden Lampen und Fototransistoren in die Ecken eines Holzrahmens, dann kann die Anordnung als optische Zielscheibe für Geschicklichkeitsübungen und Gesellschaftsspiele benutzt werden.
Schaltung: Zu erreichen ist, daß der Schaltverstärker erst dann anspricht, wenn beide Fototransistoren unbeleuchtet sind. Dies läßt sich durch Parallelschalten von F 1 und F 2 verwirklichen. Beide ziehen einen kräftigen Kollektorstrom, wenn sie beleuchtet werden, damit ist die Spannung an R 2 = Null. Öffnet nur einer der beiden Transistoren während einer Strahlunterbrechung, bleibt die Kollektorspannung des anderen trotzdem Null. Im Falle, daß beide Fototransistoren unbelichtet sind, steigt auch die Spannung an R 2 an. Nun erst kann T 1 durchschalten und T 2 sperren. Demzufolge fällt das Relais ab. Die plötzlich auftretende negative Kollektorspannung an T 2 gelangt über C, R 5 und D 1 auf die Basis von T 1. Der Schaltzustand wird also künstlich verlängert, so daß auch träge Anzeigevorrichtungen eingeschaltet werden können. Die Umschaltung in Ausgangsposition erfolgt erst nach völliger Aufladung von C.

Stückliste zu Schaltung 10

Fototransistoren
F 1/F 2 OCP 70
Widerstände
R 1 220 kOhm
R 2 22 kOhm
R 3 50 kOhm Potentiometer
R 4 22 kOhm
R 5 6,8 kOhm
Kondensator
C zwischen 5 µF — 50 µF
Transistoren
T 1 OC 469 (ITT Intermetall)
T 2 ASY 12 (ITT Intermetall)
Dioden
D 1 und D 2 BAY 18 (ITT Intermetall)
Relais
Rel. ca. 800 — 1000 Ohm


24V
R2
R4
Rel.
D1
R5
C
T2
T1
F1
F2
R1
R3
D2

Hochempfindliche Schranke für modulierte Strahlung

Anwendung: Diese Wechsellichtschranke kann zur Überbrückung sehr großer Reichweiten eingesetzt werden. Sie ist unempfindlich gegen Fremdlicht und deshalb im Freien gut zu gebrauchen. Der Lichtwerfer ist mit einer Lochscheibe zu modulieren.

Schaltung: Im Kollektorkreis des in A-Betrieb arbeitenden Fototransistors ist ein hochwertiges Tonfilter eingefügt, das nur eine Bandbreite (6 dB) von 50 Hz besitzt. Dadurch kann die Verstärkung höher getrieben werden, denn bekanntlich nimmt das Rauschen mit kleiner werdender Bandbreite ab. T 1 und T 2 arbeiten als weitere Verstärkerstufen und T 3 als Demodulator des NF-Signals.

Wenn T 3 ein Steuersignal erhält, baut sich an dem Potentiometer R 13 eine durch C 6 geglättete Gleichspannung (—) auf. Sie schaltet den Schalttransistor T 4, und das Relais zieht an. Da alle Stufen durch Emitterwiderstände thermisch stabil bleiben, ist die Schranke bei Temperaturen zwischen 0 und + 45 °C einsetzbar.

Stückliste zu Schaltung 11

Fototransistor
F OCP 70

Widerstände
R 1 82 kOhm
R 2 15 kOhm
R 3 3,3 kOhm
R 4 47 kOhm
R 5 12 kOhm
R 6 4,7 kOhm
R 7 2,2 kOhm
R 8 47 kOhm
R 9 12 kOhm
R 10 4,7 kOhm
R 11 2,2 kOhm
R 12 1 kOhm
R 13 2,2 kOhm Potentiometer

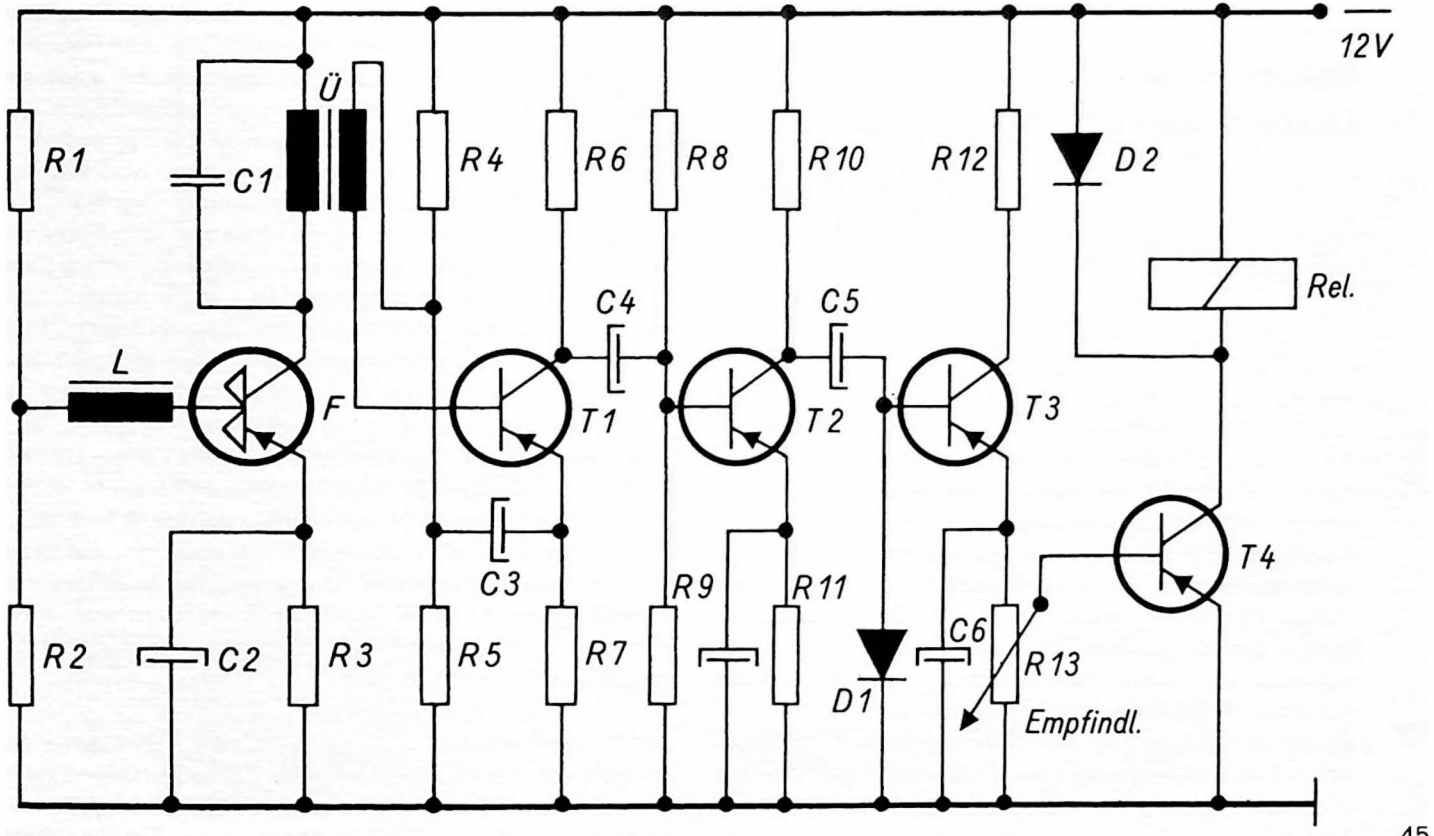
Kondensatoren
C 1 22 nF
C 2 5 µF
C 3 25 µF
C 4 25 µF
C 4 25 µF
C 5 50 µF
C 6 25 µF

Transistoren
T 1 OC 305/2
T 2 OC 305/2
T 3 OC 304/3
T 4 ASY 12/2
(ITT Intermetall)

Dioden
D 1 BAY 17
D 2 BAY 18
(ITT Intermetall)

Übertrager Ü
Schalenkern (Valvo) P 36/22 FXC 3H1 ohne Luftspalt; sec.: 5 Lagen 0,3 CUL, prim.: voll 0,3 CUL, dabei ist F = ca. 600 Hz

Drossel L
Schalenkern (Valvo) P 14/8 FXC 3H1 ohne Luftspalt vollwickeln mit 0,1 mm CUL
Rel. ca. 200 Ohm


12V
R1
C1
Ü
R4
R6
R8
R10
R12
D2
Rel.
C4
C5
L
F
T1
T2
T3
T4
C3
R9
R11
R2
C2
R3
R5
R7
C6
R13
D1
Empfindl.

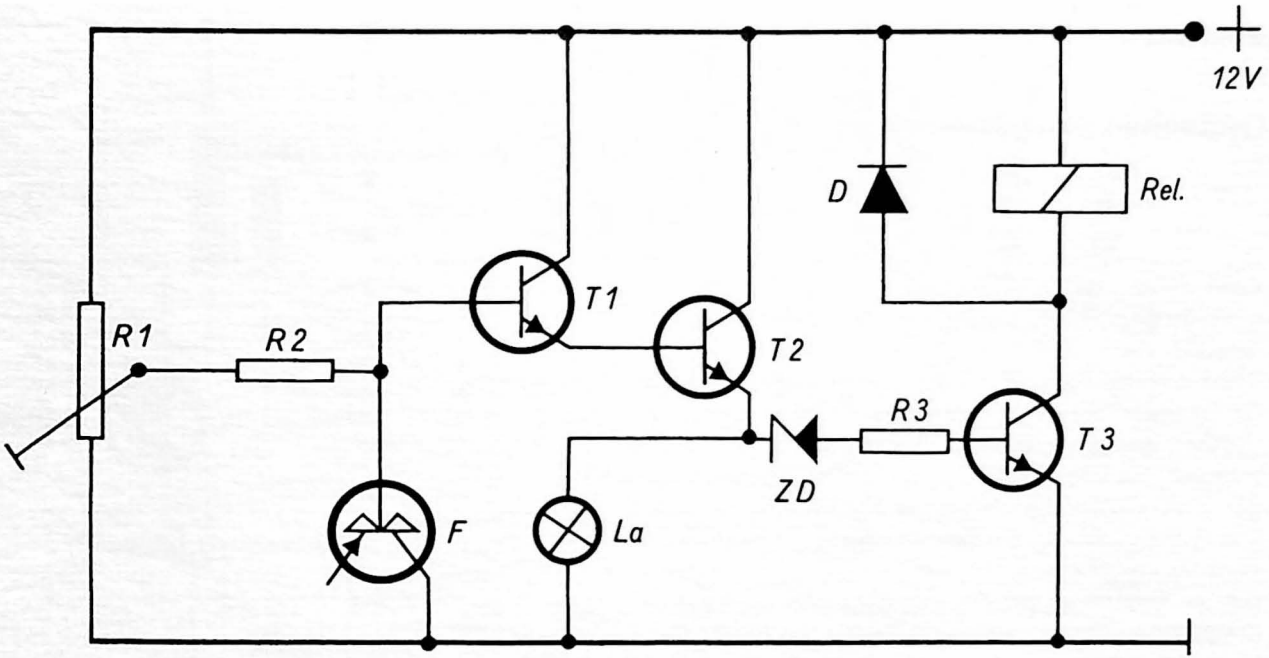
Schaltung 12

Optisch gegengekoppelte Lichtschranke mit Lampenschonbetrieb

Anwendung: Die Besonderheit dieser Lichtschranke liegt darin, daß die Lampe des Lichtwerfers nur dann hell brennt, wenn der Strahlenweg unterbrochen wird. Solche Schaltung ist immer dann von Vorteil, wenn nur geringe Schalthäufigkeiten zu erwarten sind, denn 1. wird die Lampe, da sie pro Schaltung nur einige Zehntelsekunden brennt, fast ewig halten. Das kommt der Betriebssicherheit zugute. 2. nimmt die ganze Anlage nur während des Schaltvorganges einen größeren Strom auf.
Es sei bemerkt, daß die Schaltung vorwiegend für Gabelschranken verwendet werden sollte, denn der Abstand zwischen Fototransistor und Lampe darf maximal 10 mm sein.

Schaltung: Um die Funktion der Schaltung zu verstehen, denken wir uns den Fototransistor einmal abgelötet oder völlig verdunkelt. Demnach erscheint die am Potentiometer R 1 eingestellte Basisspannung für T 1 auch am Emitter von T 2, genau wie bei einem elektronisch geregelten Netzgerät. Die Lampe La wird also je nach Einregeln von R 1 heller oder dunkler brennen. Nun schalten wir den Fototransistor dazu, der zusammen mit R 2 einen Spannungsteiler bildet. Da jetzt Licht auf F fällt, bricht die Spannung an der Basis von T 1 zusammen, ebenso die am Emitter von T 2. Folglich wird die Lampe dunkler. Man könnte nun meinen, daß wegen der dunklen Lampe auch der Diodenstrom im Fototransistor wieder abnimmt, und damit die Lampe wieder heller brennen müßte. Das ist jedoch nicht der Fall, denn der Fototransistor besitzt eine sehr hohe Infrarotempfindlichkeit und bleibt allein von der IR-Strahlung der gerade rotglühenden Lampe niederohmig. In diesem Zustand ist die Brennspannung ca. 0,5—1 V.
Unterbrechen wir den Lichtstrahl, so zieht der Fototransistor keinen Strom mehr. Die ursprünglich eingestellte Basisspannung (T 1) ist wieder voll wirksam und damit auch die Lampe wieder hell. In diesem Zustand hat die Brennspannung etwa 4—6 V.

Der Schaltverstärker (T 3) ist über eine Zenerdiode mit Lampenbrennspannung gekoppelt. ZD verhindert ein Ansprechen des T 3 in Ruhestellung der Schranke. Sie wird erst leitend, wenn die Brennspannung ca. 3 V übersteigt.



Stückliste zu Schaltung 12

Fototransistor
F OCP 70

Widerstände
R 1 10 kOhm Potentiometer
R 2 100 kOhm
R 3 4,7 kOhm

Transistoren
T 1 BSY 53 (ITT Intermetall)
T 2 BDY 15 C (ITT Intermetall)
T 3 BSY 54 (ITT Intermetall)

Diode
D BAY 17 (ITT Intermetall)

Zenerdiode
ZD Z 3 (ITT Intermetall)

Lampe
La 7 V/0,3 A oder
10 V/0,2 A

Optisches IR-Thermometer

Anwendung: Das Gerät dient zur Messung von Temperaturen an unzugänglichen Stellen, beispielsweise an Röhrenelektroden.

Der Fototransistor wird auf der Filmebene einer Spiegelreflexkamera aufmontiert. Vor das Objektiv kommt ein IR-Filter, das die sichtbaren Lichtstrahlen abhält. Weiter wird vor das Ganze eine sich drehende Lochscheibe angeordnet, welche die einfallende IR-Strahlung moduliert. Die Drehzahl ist auf die Resonanzfrequenz des Verstärkerteiles abzustimmen.

Bei der Einstellung des Gerätes geht man wie folgt vor: Die Kamera wird so weit an das Meßobjekt herangeführt, bis auf dem Sucher die zu messende Fläche genau in der Mitte des Bildausschnittes erscheint. Nach Auslösen der Kamera wird der Fototransistor bestrahlt, wodurch er eine der Wärmestrahlung annähernd proportionale Wechselspannung liefert. Sie wird mit einem schmalbandigen Verstärker verstärkt und vom Meßinstrument M angezeigt.

Das Gerät kann empirisch geeicht werden (regelbare Kochplatte).

Stückliste zu Schaltung 13

Fototransistor
F OCP 70

Widerstände
R 1 82 kOhm
R 2 15 kOhm
R 3 3,3 kOhm
R 4 47 kOhm
R 5 12 kOhm
R 6 3,3 kOhm
R 7 47 kOhm
R 8 12 kOhm
R 9 3,3 kOhm

Kondensatoren
C 1 50 µF
C 2 22 nF
C 3 22 nF
C 4 50 µF
C 5 22 nF
C 6 50 µF
C 7 5 µF

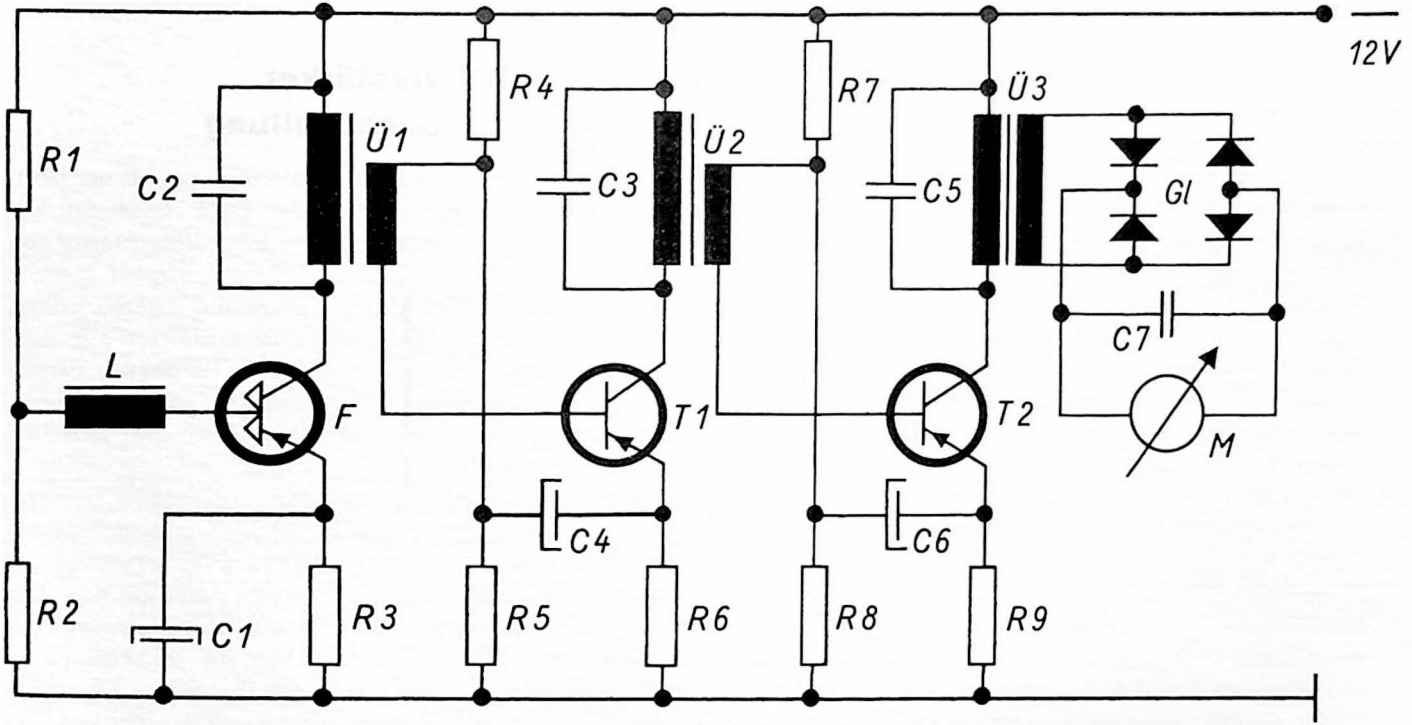
Transistoren
T 1 und T 2 OC 305/1 (ITT Intermetall)

Gleichrichter
Gl 4 x BAY 17

Meßgerät
M 1 V Vollausschlag

Drossel
L Schalenkern (Valvo) P 18/11 FXC 3H1 ohne Luftspalt mit 0,1 CUL volwilckeln

Übertrager
Ü 1 — Ü 3 Schalenkern (Valvo) P 36/22 FXC 3H1 ohne Luftspalt; sec.: 5 Lagen 0,3 CUL, prim.: voll 0,3 CUL: dabei ist F = ca. 600 Hz



Schaltung: Die drei Verstärkerstufen F, T 1 und T 3 sind durch besonders schmalbandige Resonanztransformatoren gekoppelt. Als Kernmaterial kann der Valvo-Ferroxcube—Schalenkern P 36/22 ohne Luftspalt, AL-Wert 9600, empfohlen werden, mit dem sich Übertrager herstellen lassen, die bei einer Resonanzfrequenz von 800 Hz eine Bandbreite von unter 50 Hz (6 dB) aufweisen. Aufgrund der hohen Kreisgüte macht jede Stufe eine etwa 100fache Verstärkung. Das Rauschen ist wegen der geringen Bandbreite ohne Einfluß auf das Meßergebnis.

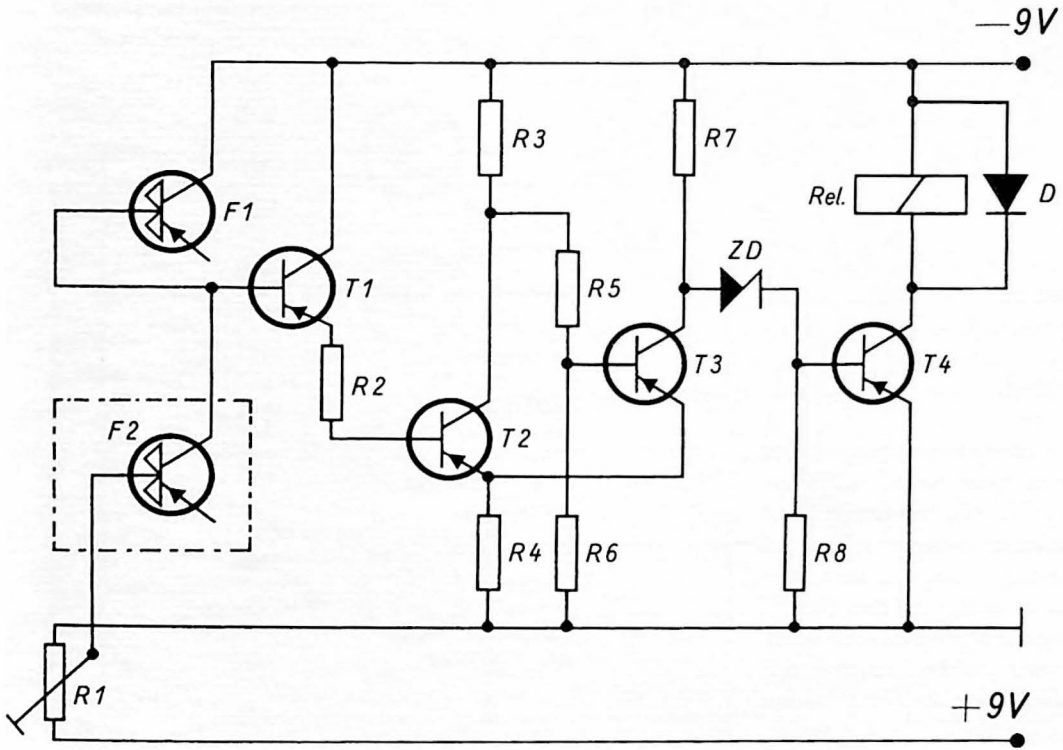
Die Ausgangsspannung des 3. Übertragers wird mit einer hochohmigen Diodenbrücke gleichgerichtet und von dem Voltmeter angezeigt. Weil der ganze Verstärker keine Regelmöglichkeit besitzt, muß der Abgleich folgendermaßen vorgenommen werden: Bei gegebener Temperatur ist die Blende des Objektives soweit zu öffnen, daß M voll ausschlägt. Die Zahlenwerte der Blende können dann in °C geeicht werden. Diese Maßnahme verhindert ein Übersteuern des Verstärkers, wodurch eine sehr große Genauigkeit bzw. Reproduzierbarkeit des einmal ermittelten Wertes erreicht wird.
Es ist wichtig, den Abstand zwischen Objektiv und Meßobjekt ein für allemal festzulegen (etwa 10 cm). Ferner muß stets dasselbe Objektiv benutzt werden, wenn man brauchbare Resultate erzielen will. Alle Messungen sind bei gleicher Raumtemperatur durchzuführen, denn der Fototransistor ist stark wärmeempfindlich.

Abgleich der Schalenkerne:
Ein Höchstmaß an Empfindlichkeit ist nur gewährleistet, wenn alle 3 Übertrager auf vollkommen gleiche Frequenzen abgestimmt sind. Toleranzen im AL-Wert, der Wicklungen und der Kondensatoren bewirken, daß nicht alle Kreise auf Anhieb auf gleicher Frequenz arbeiten. Zum Abgleich gibt man zweckmäßig einen Tongenerator auf die Basis von F und wechselt solange die Kondensatoren C 2, C 3 und C 5 gegen andere aus, bis jeder Kreis auf die Sollfrequenz abgestimmt ist.

Schaltung 14

Infrarot-Schaltverstärker in Kompensationsschaltung

Anwendung: Nicht immer ist es gleichgültig, ob der Lichtgeber sichtbares oder unsichtbares Licht aussendet. Insbesondere bei Alarmanlagen ist eine Infrarotschranke vorzuziehen.
Die hier gezeigte Schaltung spricht auf sichtbares und infrarotes Licht an. Als Lichtgeber empfiehlt sich eine Autolampe, die mit Unterspannung betrieben werden kann. Für Infrarotbetrieb ist ebenfalls eine Autolampe (12 V/35 W) geeignet, die mit 6 V gespeist und einem IR-Filter abgedeckt wird.
Schaltung: Den Fotodetektor bilden zwei Valvo-Fototransistoren, die als Diode geschaltet sind und in Brückenbetrieb arbeiten. Die Brückenschaltung ist notwendig, um Temperaturschwankungen ausgleichen zu können. Der Kompensationstransistor ist in einem lichtdichten Kästchen untergebracht. Mit R 1 wird die Brücke so abgeglichen, daß bei unbeleuchtetem F 1 an der Basis von T 1 gegenüber Masse keine Spannung zu messen ist. Bei Lichteinfall auf F 1 zieht dieser mehr Fotostrom und verschiebt dadurch die Basis von T 1 in den negativen Bereich. Demzufolge zieht T 1 Strom und steuert den Schmitt-Trigger T 2 und T 3 aus. Am Ausgang des Triggers ist ein Schaltverstärker in üblicher Schaltungstechnik angeschlossen.



Stückliste zu Schaltung 14

Fototransistor
F 1/F 2 OCP 70

Widerstände
R 1 5 kOhm Potentiometer
R 2 1 kOhm
R 3 1 kOhm
R 4 300 Ohm
R 5 22 kOhm
R 6 47 kOhm
R 7 1 kOhm
R 8 3,3 kOhm

Transistoren
T 1 — T 3 OC 304/2 (ITT)
T 4 ASY 12/2

Diode
D BAY 17 (ITT)

Zenerdiode
ZD Z 5/Z 6 (ITT)

Relais
Rel. 100 Ohm — 200 Ohm

Schaltung 15

Multischranke zur Prüfung von gelochten Blechen

Anwendung: In jeder Fertigung ist die Kontrolle verschiedener Werkstücke die Voraussetzung für eine Weiterverarbeitung. Sofern es sich um Bleche oder Platten handelt, die an bestimmten Stellen Löcher und Ausschnitte tragen müssen, ist die Prüfung auf Vollständigkeit der Durchbrüche optisch leicht durchführbar.

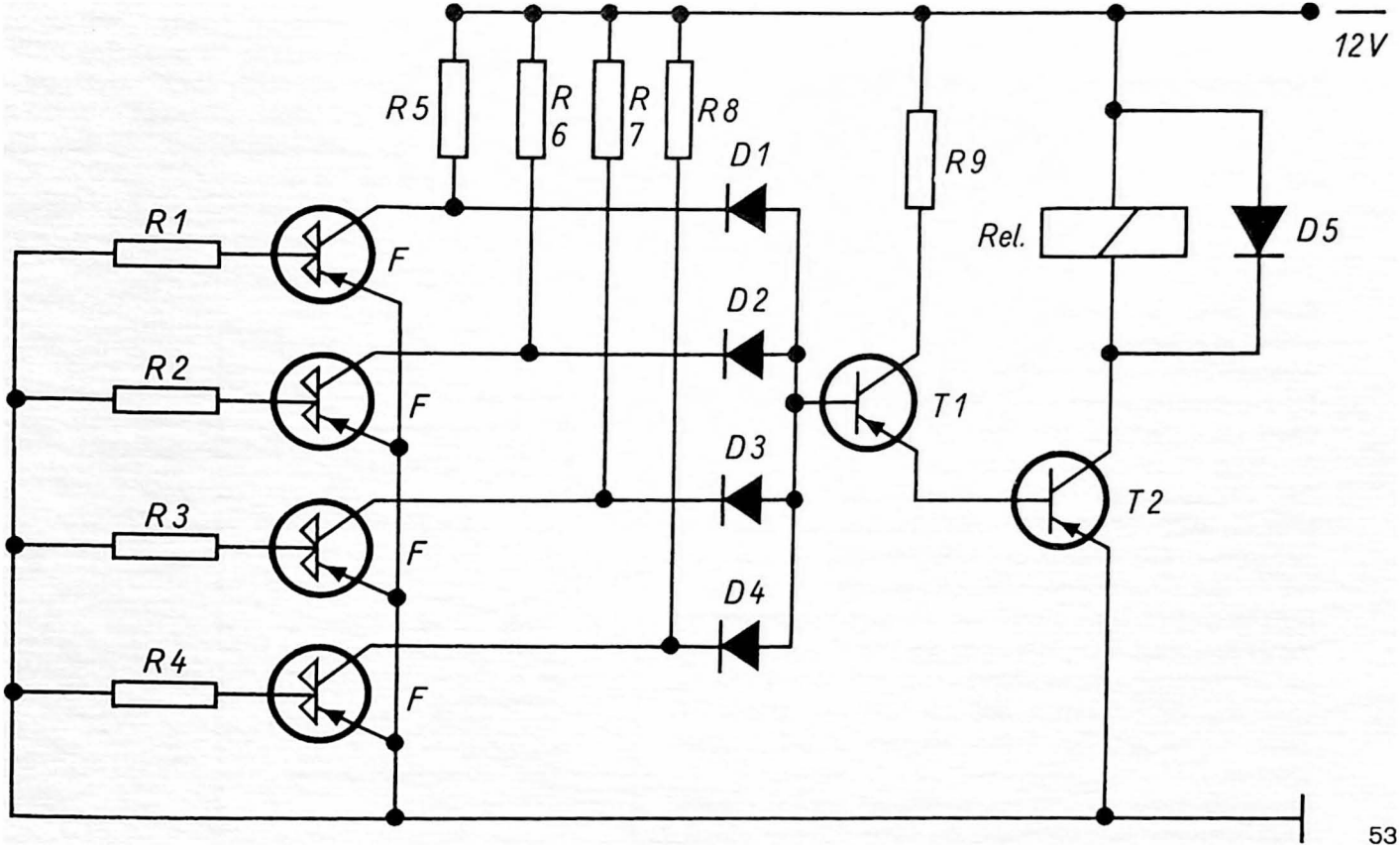
In Schaltung 15 arbeiten 4 Fototransistoren so, daß ein Schalt- oder Warnsignal ausgelöst wird, wenn nur einer der Fototransistoren unbeleuchtet ist. Die Schaltung kann man auf beliebig viele Fototransistoren erweitern.

Zur Prüfung eines Werkstückes baut man sich eine dem Original entsprechende Schablone, in der an den Durchbruchstellen jeweils ein Fototransistor eingelassen wird. Über der Schablone ist eine helle Lampe anzubringen, welche die ganze Fläche ausleuchtet. Sobald bei Auflegen des Prüflings ein Loch fehlt, gibt die Schaltung Alarm.

Schaltung: Die vier Fototransistoren sind über die Dioden D 1—D 4 mit dem Schaltverstärker gekoppelt. Bei ausreichender Beleuchtung aller Fototransistoren haben die Kollektoren keine Spannung; der Schaltverstärker spricht nicht an. Wird ein Kollektor (egal welcher) negativ, schaltet sich der Schaltverstärker ein.

Stückliste zu Schaltung 15

Fototransistoren
F OCP 70
Widerstände
R 1 — R 4 100 kOhm
R 5 — R 8 22 kOhm
R 9 1,2 kOhm
Transistoren
T 1 OC 469 (ITT Intermetall)
T 2 ASY 12/2 (ITT Intermetall)
Dioden
D 1 — D 5 BAY 17 (ITT Intermetall)
Relais
Rel. 200 Ohm


12V
R5
R 6
R 7
R8
D1
R9
R1
F
Rel.
D5
D2
R2
F
T1
D3
T2
R3
F
D4
R4
F

Schaltung 16

Lichtmengenmeßgerät für Blitzgeräte

Anwendung: Zur Erfassung der gesamten Lichtmenge eines Lichtblitzes bedient man sich Schaltungen, die das erzeugte Licht in eine von der Lichtmenge bestimmte elektrische Ladung umwandeln. Wegen der geringen Blitzdauer ist es erforderlich, das Meßergebnis für eine zur Ablesung ausreichende Zeit zu speichern.

Die nebenstehende Abbildung zeigt eine solche Schaltung, die aufgrund ihrer Einfachheit zwar keine Präzisionsmessungen zuläßt, aber dennoch geeignet ist, daß man mit ihr überschlägige Vergleichsmessungen durchführt.

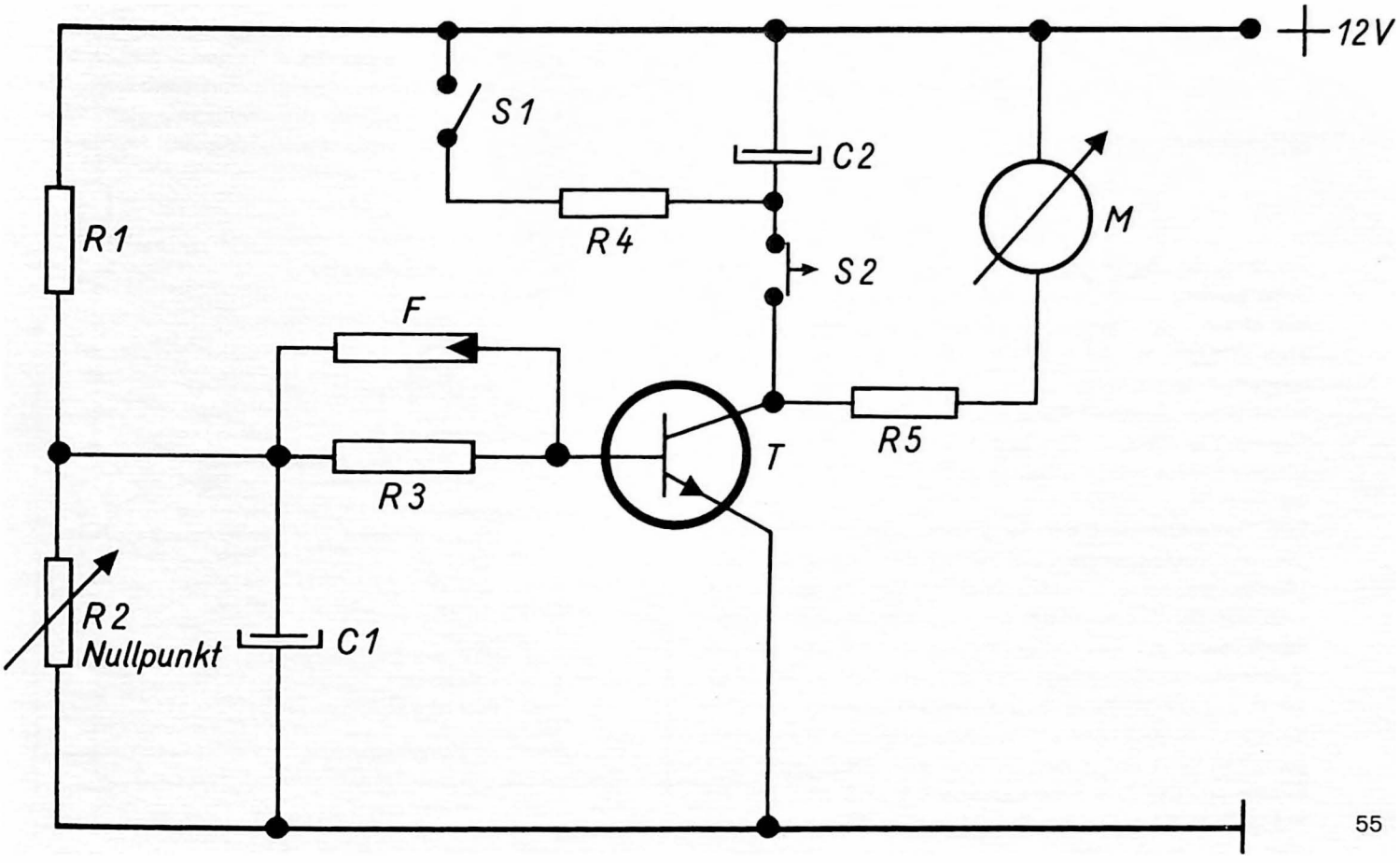
Schaltung: Der Transistor T hat die Aufgabe, einmal als Ventil zu wirken, und gleichzeitig den vom Siliziumelement gelieferten Strom zu verstärken. Mit R 2 wird die Basisspannung so eingestellt, daß im Kollektor gerade ein Strom fließen will. Bei diesem Abgleich ist S 2 zu unterbrechen.

Lösen wir nun einen Blitz aus, so erzeugt das Fotoelement einen kräftigen Fotostrom, der die Basis durchsteuert. R 3 belastet das Element und bewirkt einen linearen Spannungsanstieg mit dem Lichtstrom (siehe unter Silizium-Fotoelemente). Infolge des kurzen Stromstoßes fließt im Kollektor des Transistors ebenfalls ein Stromimpuls, der C 2 teilweise auflädt. Das Meßinstrument M zeigt die Aufladung von C 2 an. Es muß sehr hochohmig sein, damit C 2 nicht zu schnell entladen wird.

Die Ladespannung an C 2 ist ein Maß für die Lichtmenge des Blitzes. S 1 dient zur Entladung des Kondensators C 2 und stellt den Ausgangszustand wieder her.

Stückliste zu Schaltung 16

Fotoelement
F Silizium-Fotoelement (Dr. Lange, Berlin)
Widerstände
R 1 5,6 kOhm
R 2 2,2 kOhm Potentiometer
R 3 10 Ohm
R 4 10 Ohm
R 5 1,2 MOhm
Kondensatoren
C 1 250 µF/6 V
C 2 0,5 — 10 µF, je nach Abstand der Blitzlampe
Transistor
T BSY 54 (ITT Intermetall)
Meßgerät
M 10 µA Vollausschlag


+ 12V
S1
C2
M
R1
R4
S2
F
R5
T
R3
R2
Nullpunkt
C1

Schaltung 17

Blitzdauermeßgerät

Anwendung: Die eleganteste Methode einer Kurzzeitmessung besteht zweifellos im Sichtbarmachen des Impulses auf einem Oszillografen. Unter vorgegebenem Zeitmaßstab läßt sich so die Impulszeit einfach mit einem Zentimetermaß ausmessen.

Nicht jedem Amateur steht aber ein Oszillograf zur Verfügung. Für diesen Leser bringt die nachstehende Schaltung brauchbare Ergebnisse. Das Arbeitsprinzip ist denkbar einfach:

Drei Fotoelemente, die in Serie geschaltet werden, erzeugen bei ausreichendem Lichteinfall ihre maximale Foto-Leerlaufspannung. Ein sehr hochohmiger Verstärker lädt während der Zeitdauer des Eingangssignales einen Ladekondensator auf. Die Ladespannung ist abhängig von der Zeitdauer des Steuerimpulses und wird von einem Meßgerät angezeigt. Je nach Dimensionierung der Kondensatoren C 1—C 3 kann der Vollausschlag des Meßgerätes zwischen 0,001 und mehreren Sekunden Blitzdauer liegen.

Schaltung: Die Transistorkaskade T 1—T 3 wird mit R 2 auf gerade beginnenden Kollektorstrom (T 3) eingestellt. S 1 ist bei dieser Einstellung auf eine Leerstufe zu schalten. Danach kann mit S 1 einer der 3 Bereiche eingeschaltet und der Blitz ausgelöst werden. Mit dem Potentiometer R 5 wird eine bessere Linearität der Anzeige erzielt. Weiterhin gestattet es eine exakte Einstellung des Meßbereiches.

Stückliste zu Schaltung 17

Fotoelemente

F	3 x Silizium-Fotoelemente	

Widerstände

R 1	5,6 kOhm	
R 2	2,2 kOhm Potentiometer	
R 3	1 kOhm	
R 4	100 Ohm	
R 5	100 Ohm Potentiometer	
R 6	1,2 MOhm	

Kondensatoren

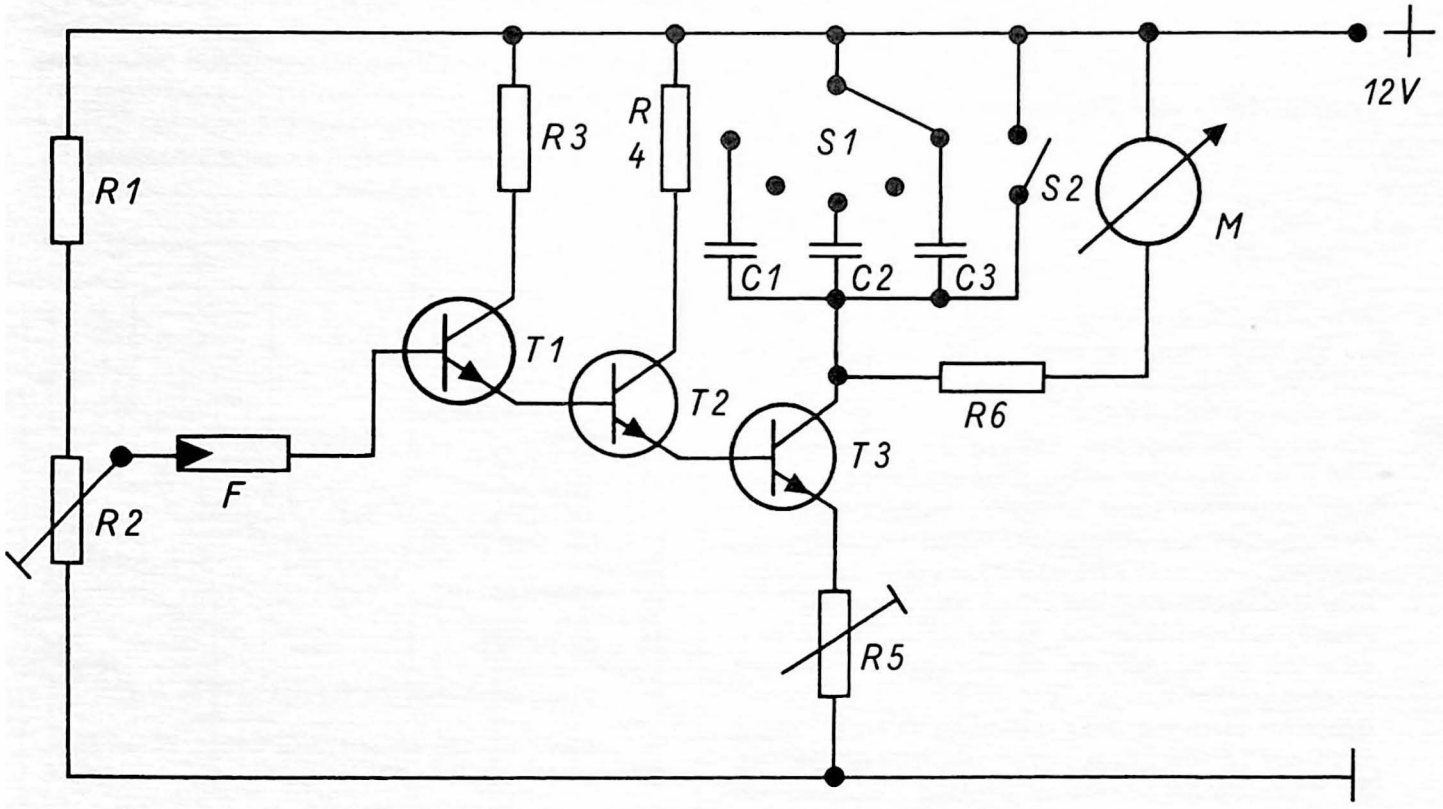
	für Kurzzeiten	für längere Zeiten
C 1	0,047 µF	1 µF
C 2	0,47 µF	10 µF
C 3	4,7 µF	100 µF

Transistoren

T 1	BFY 39/2 (ITT Intermetall)
T 2	BSY 53 (ITT Intermetall)
T 3	BSY 53 (ITT Intermetall)

Meßgerät

M	10 µA Vollausschlag


12V
R1
R2
F
R3
R4
S1
S2
M
C1
C2
C3
T1
T2
T3
R5
R6

Schaltung 18

Tochterblitz mit Thyristor

Anwendung: Tochterblitzgeräte werden dort eingesetzt, wo die Ausleuchtung mit einem einzigen Blitzgerät nicht ausreicht und ein zweiter Blitzer drahtlos synchron mit dem ersten auslösen soll.

Schaltung: Die angelegte Speisespannung (+ 300 bis 1000 V, je nach Blitzlampentyp) dient gleichzeitig zur Speisung dreier Stromkreise, und zwar der Blitzlampe, des Zündtransformators und des Fotoverstärkers. Die Speisespannung des Fotoverstärkers wird aus dem Spannungsteiler R 1/ZD gewonnen und beträgt 6 V, die der Zündeinrichtung aus dem Spannungsteiler R 2/R 3. Der Kondensator C 2 hat die Aufgabe, den während der Zündung notwendigen Strom zu liefern.

Gehen wir davon aus, daß F unbelichtet ist. Dann fließt in F, T 1 und T 2 kein Strom, und der Thyristor ist gesperrt. Bei Auslösung des Hauptblitzes empfängt F einen starken Lichtimpuls. Daraufhin fließt in T 1, T 2 und Th ein kurzer, aber starker Strom. Der Thyristor zündet. Über den Zündtransformator Tr entlädt sich nun die in C 2 gespeicherte Energie. Der steile Impulsstrom erzeugt in der Sekundärwicklung des Tr einen Hochspannungsimpuls (etwa 10 kV). Damit wird die Blitzlampe ionisiert und gezündet. Jetzt entlädt sich der Blitzkondensator C 3 über La. Nach Löschen der Lampe wird er über R 4 erneut aufgeladen. Der Vorgang kann sich wiederholen.

Stückliste zu Schaltung 18

Fotodiode
F OAP 12 bzw.
OCP 70 als Diode

Widerstände
R 1 150 kOhm
R 2 2,2 MOhm
R 3 1,5 MOhm
R 4 100 Ohm (Draht)

Kondensatoren
C 1 1 µF
C 2 0,1 µF
C 3 300 µF

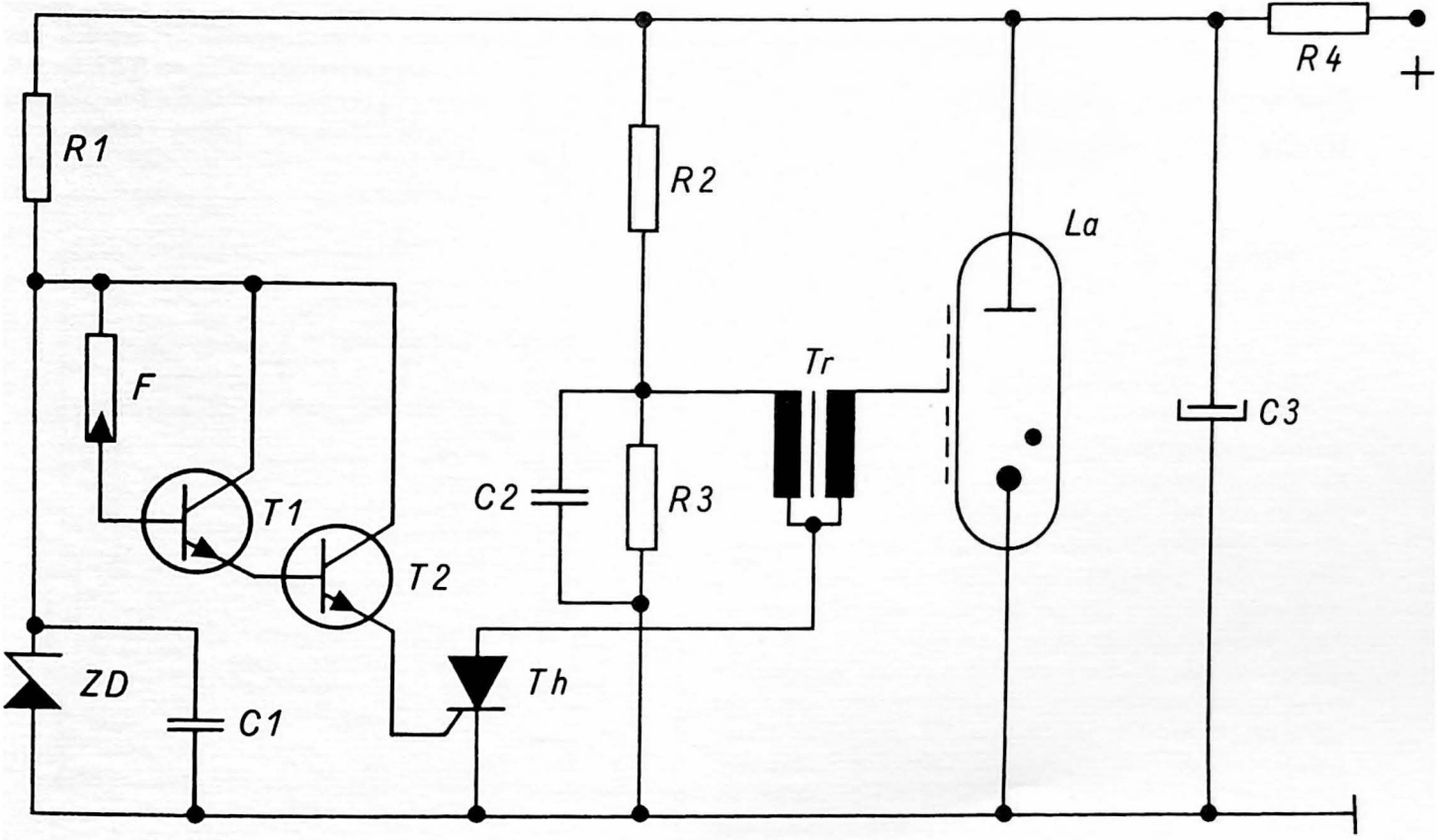
Transistoren
T 1 und T 2 BFY 39/2 (ITT)

Thyristor
Th T 0,8 N4A00 (ITT)

Zenerdiode
ZD Z 8 (ITT)

Transformator
Tr Zündtransformator ZS 102 (Heimann GmbH.)

Lampe
La Blitzlampe NG 402 (Helmann GmbH., Wiesbaden)
Betriebsspannung: 360—500 V


R1
R2
R4
+
La
F
Tr
C3
T1
C2
R3
T2
ZD
C1
Th

Schaltung 19

Optische Motorsteuerung (Links- und Rechtslauf)

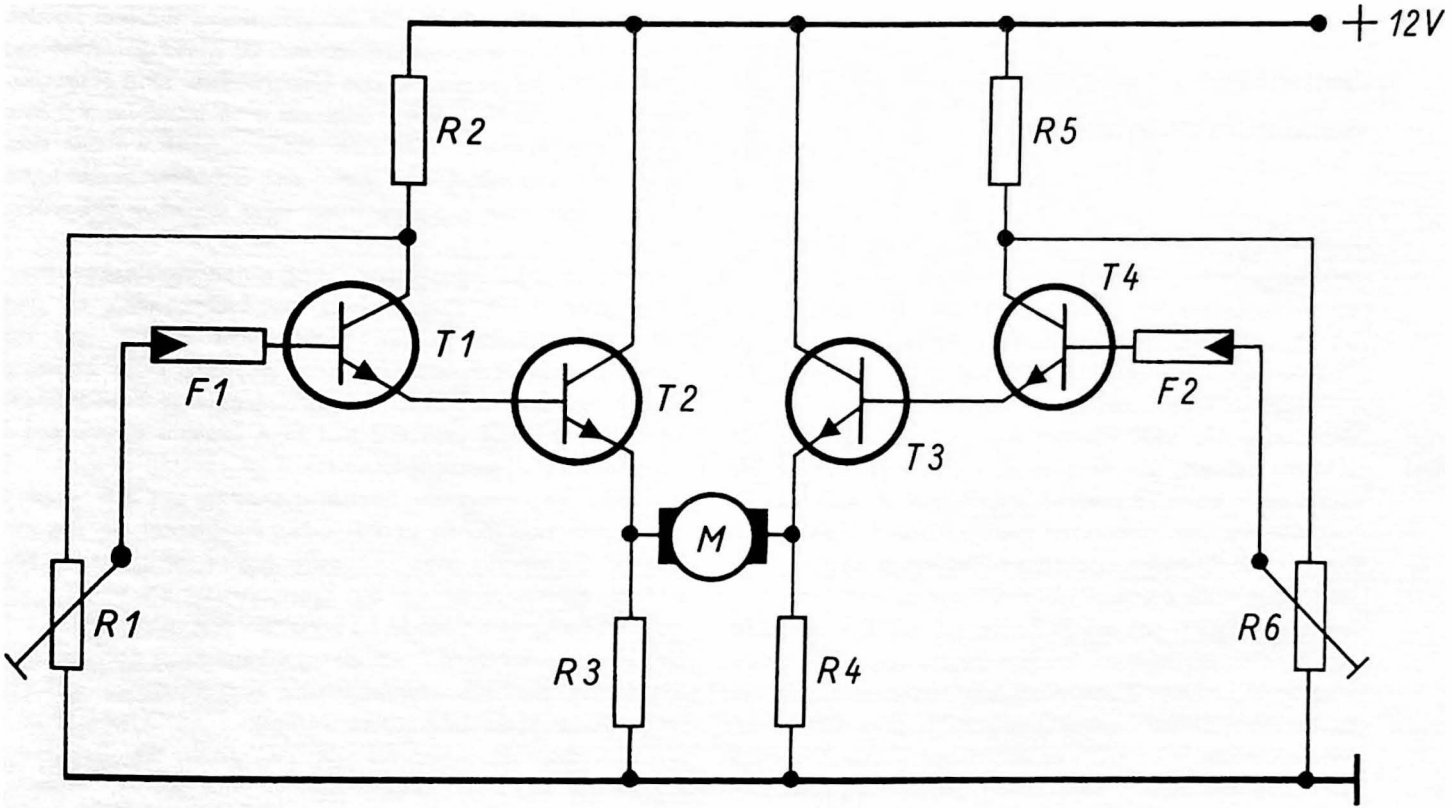
Anwendung: Gelegentlich kommt es vor, daß ein motorbetriebenes Steuerorgan drahtlos aus der Ferne bedient werden soll, zum Beispiel in Laboratorien, in denen man zum eigenen Schutz einen Vorgang hinter einer sicheren Glasscheibe beobachten will. Hierzu kann Schaltung 19 verwendet werden, die es gestattet, den Steuermotor links- oder rechtsherum laufen zu lassen.

Schaltung: Die Schaltung besteht aus zwei symmetrisch aufgebauten Verstärkern, die abwechselnd oder zusammen auf einen Motor arbeiten können. Bei gegebener Raumbeleuchtung der Fotoelemente (je 3 Stück in Reihe) werden R 1 und R 6 auf gleiche Spannung an R 3 und R 4 abgeglichen. Damit ist zwischen den Motoranschlüssen keine Spannungsdifferenz, und der Motor bleibt stehen.

Durch zusätzliche Beleuchtung von F 1 oder F 2 kann nun der jeweilige Verstärker höher ausgesteuert werden. Die Folge ist ein Anstieg der Emitterspannung an R 3 oder R 4. Der Motor beginnt sich zu drehen, wobei die Drehrichtung davon bestimmt wird, welches der beiden Fotoelemente zusätzlich Licht erhält.

Stückliste zu Schaltung 19

Fotoelemente
F 1/F 2 Selen-Fotoelemente (Electrocell, Berlin)
Widerstände
R 1 5 kOhm Potentiometer
R 2 1 kOhm
R 3 10 Ohm/5 W
R 4 10 Ohm/5 W
R 5 1 kOhm
R 6 5 kOhm Potentiometer
Transistoren
T 1 BSY 53 (ITT Intermetall)
T 2 BDY 15 C (ITT Intermetall)
T 3 BDY 15 C (ITT Intermetall)
T 4 BSY 53 (ITT Intermetall)
Motor
M Gleichstrommotor 1,5 V


+ 12V
R2
R5
T4
T1
F1
T2
T3
F2
M
R1
R3
R4
R6

Schaltung 20

Selbsttätig zielsuchende Nachlaufsteuerung

Anwendung: Nebenstehende Schaltung erlaubt die vollautomatische Nachführung eines Gerätes auf eine einmal anvisierte Lichtquelle. So kann zum Beispiel eine auf die Sonne gerichtete Kamera ständig nachgeführt werden. Zwar erfolgt die Regelung nicht kontinuierlich, jedoch in so kleinen Schritten, daß das Motiv im Blickfeld bleibt.

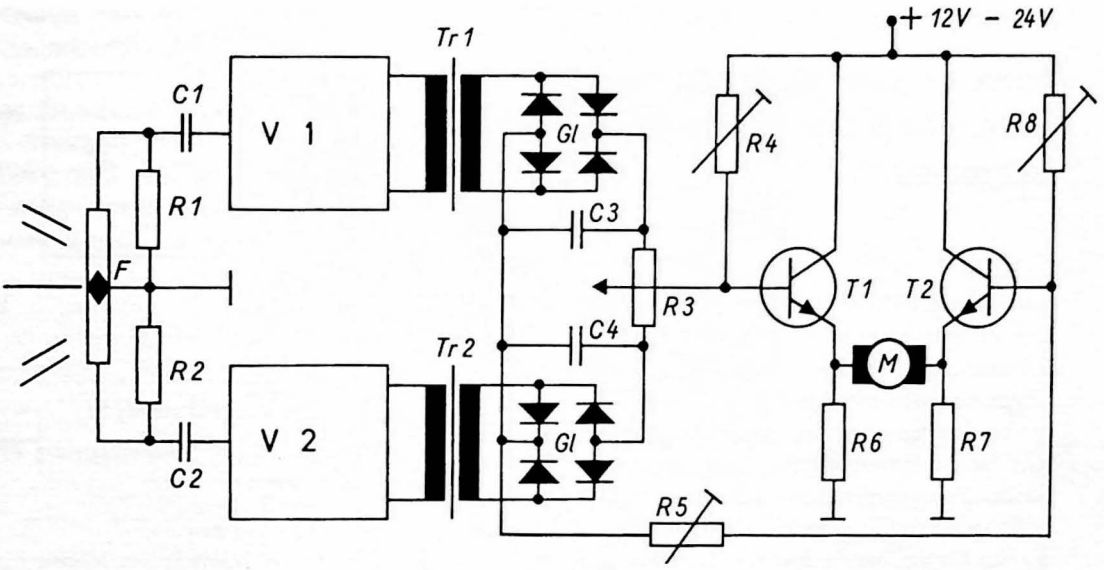
Schaltung: Als Lichtdetektor wird ein Differential-Fotoelement benutzt, auf dem eine in Spaltrichtung verlaufende senkrechte Trennwand angebracht wird. Zwischen Fotoelement und Trennwand muß zusätzlich eine große, sich schnell drehende Lochscheibe befestigt werden. Man kann auch einen planen Ventilatorflügel verwenden.

Die Lochscheibe hat die Aufgabe, die einfallende Lichtstrahlung zu modulieren. An dem Differential-Fotoelement entstehen dadurch zwei Wechselspannnungen, die der einfallenden Lichtstrahlung proportional sind. Die beiden NF-Verstärker V 1 und V 2 verstärken diese Eingangsspannung und liefern, wenn beide gleich hoch sind, zwei gleiche Ausgangsspannungen. Der Verstärker ist so zu dimensionieren, daß er bei einem Eingangssignal von ca. 10 mV eine Ausgangsspannung (sekundär) von wenigstens 15 V aufbringt. Beide Ausgangsspannungen werden nun von den Brückengleichrichtern Gl gleichgerichtet und mit C 3 und C 4 geglättet. Die Gleichrichter sind entgegengesetzt gepolt. V 1 liefert deshalb eine positive, V 2 eine negative Spannung. Die zwei Spannungen werden dem Regler R 3 zugeführt, der, wenn der Schleifer in der Mitte steht, weder eine positive noch eine negative Spannung abgibt.

Ändert sich die Eingangsspannung eines Verstärkers (hervorgerufen durch Ausweichen der Lichtquelle), so sind die Ausgangsspannungen nicht mehr gleich, und am Schleifer von R 3 entsteht eine positive oder negative Spannung. Sie wird dem Brückenverstärker T 1/T 2 zugeführt, der mit R 4 und R 8 auf eine gleiche Emitterspannung (etwa 6 V) abzugleichen ist.

Auf jede Änderung der Steuerspannung aus R 3 reagiert der Motor nun durch Links- oder Rechtslauf. In der gezeigten Schaltung sind nur sehr kleine Motoren zu betreiben, günstiger ist es, die Transistoren T 1 und T 2 mit zwei weiteren in Kaskade zu schalten (siehe Schaltung 21). Der dann besonders hochohmig gewordene Eingang des Brückenverstärkers reagiert weit empfindlicher auf geringe Steuerspannungsabweichungen.

Mit R 5 kann die Ansprechempfindlichkeit der Schaltung eingestellt werden. Dieser Regler bleibt bei zweistufigen Kaskadeverstärkern ohne Wirkung, es sei denn, man wählt einen Wert von über 2 MOhm.



Stückliste zu Schaltung 20

Gleichrichter
Gl je 4 x BAY 18 (ITT Intermetall)
Transistoren
T 1/T 2 BDY 15 C (ITT Intermetall)
Kondensatoren

C 1	2,5 µF	C 3	4 µF
C 2	2,5 µF	C 4	4 µF

Widerstände

R 1	1 kOhm	
R 2	1 kOhm	
R 3	1 kOhm	Pot
R 4	5 kOhm	Pot
R 5	10 kOhm	Pot
R 6	27 Ohm	
R 7	27 Ohm	
R 8	5 kOhm	Pot

Fotoelement
F Differential-Fotoelement (Electrocell, Berlin)
Transformatoren
Tr 1/Tr 2 Ausgangstransformatoren
prim.: entsprechend der verwendeten Transistoren
sec.: 500—1000 Ohm
Motor
M Gleichstrommotor 1,5 V

Schaltung 21

Optische Nachführschaltung mit getrennter Ansprechregelung für links und rechts

Anwendung: Wie Schaltung 20. Ebenso ist der Empfangs- und Verstärkerteil gleichartig aufgebaut.

Schaltung: An die Beschreibungen der Schaltung 20 anknüpfend, betrachten wir nun die elektrischen Vorgänge hinter den Verstärkern. Beide Ausgangstransformatoren sind für Doppelweggleichrichtung ausgelegt. Jeweils zwei Diodenstrecken erzeugen aus der Wechselspannung eine positive und eine negative Gleichspannung. Somit haben wir vier Gleichspannungen zur Verfügung (2 x + und 2 x —), die wie folgt verkoppelt sind: Die positive Spannung aus V 1 wird in R 4 mit der negativen aus V 2, die positive aus V 2 in R 3 mit der negativen Spannung aus V 1 kompensiert. Sind alle vier Spannungen gleich hoch, erscheint an den Schleifern von R 3 und R 4 (Mittelstellung) keine Spannung. Nehmen wir an, die Ausgangsspannung von V 1 sei kleiner und die von V 2 größer geworden. Die Folge ist eine positive Spannung am Schleifer von R 3, wodurch T 2 und T 4 leitend werden, und das Relais anzieht.

Am Schleifer von R 4 entsteht eine negative Spannung, T 1 und T 3 bleiben also stromlos. Der umgekehrte Vorgang bewirkt ein Durchschalten T 1 und T 3, und T 2 und T 4 sperren.

Die Ansprechempfindlichkeit jeder Schaltstufe läßt sich durch Verstellen der Regler R 3 und R 4 auf jeden beliebigen Wert einstellen. Zum Schutz der Transistoren gegen zu hohe negative Steuersignale ist es zweckmäßig, je eine Diode vor die Basis von T 1 und T 2 zu schalten (+ an die Basis).

Stückliste zu Schaltung 21

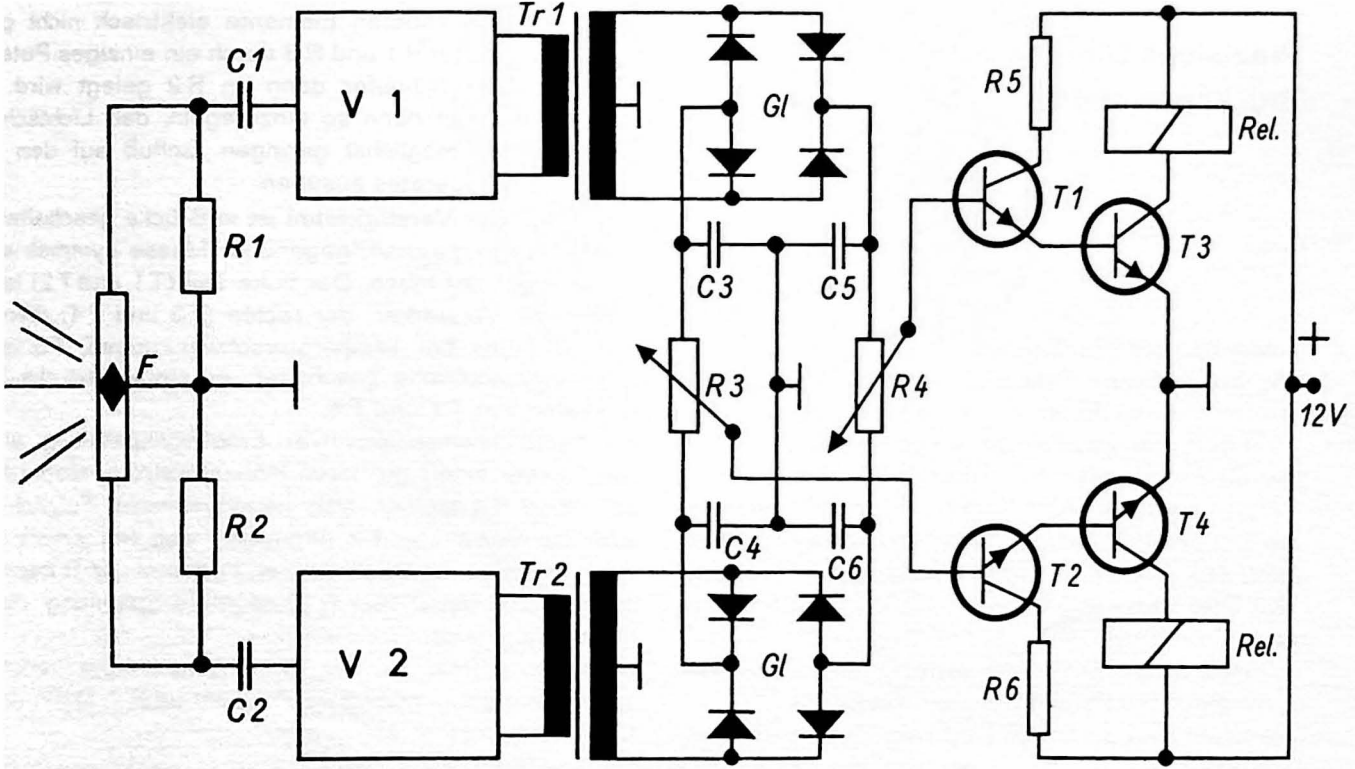
Fotoelement F Differentialzelle (Electrocell, Berlin)

Widerstände		Kondensatoren	
R 1	1 kOhm	C 1	2,5 µF
R 2	1 kOhm	C 2	2,5 µF
R 3	100 kOhm Potentiometer	C 3	1 µF
R 4	100 kOhm Potentiometer	C 4	1 µF
R 5	1,2 kOhm	C 5	1 µF
R 6	1,2 kOhm	C 6	1 µF

Transistoren		Gleichrichter	
T 1/T 2	BFY 39/2	Gl	je 4 x BAY 19 (ITT Intermetall)
T 3/T 4	BSY 54	Relais	
(ITT Intermetall)		Rel.	200 Ohm

Transformatoren

Tr 1/Tr 2 Ausgangstransformatoren
prim.: entsprechend der verwendeten Transistoren
sec.: hochohmig, ca. 2—10 kOhm


Tr 1
C1
V 1
Gl
R5
Rel.
T1
T3
R1
C3
C5
F
R3
R4
12V
R2
C4
C6
T4
T2
Tr 2
V 2
Gl
Rel.
R6
C2

Schaltung 22

Präzisions-Differenzfotometer mit Brückenverstärker

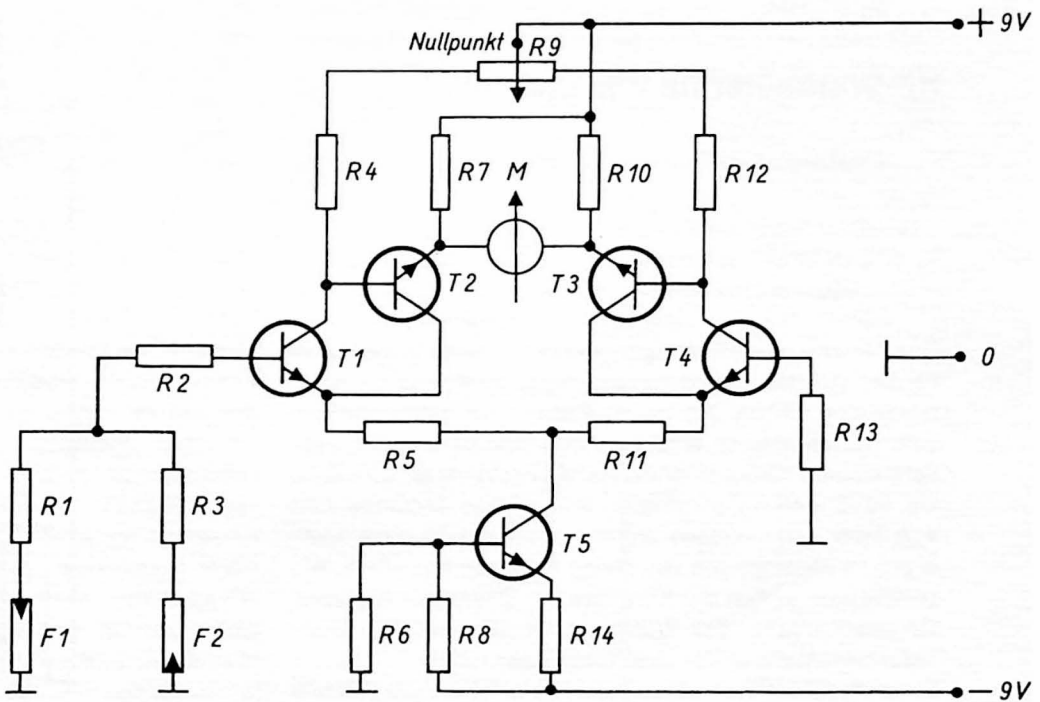
Anwendung und Arbeitsweise:
Mit diesem Gerät lassen sich Vergleiche zweier Lichtquellen anstellen. Es ist so geschaltet, daß sich die von F 1 und F 2 erzeugten Fotospannungen kompensieren, sofern die Beleuchtungsstärke auf beide Elemente gleich ist. Ein stärkerer Lichteinfall auf F 1 hat einen Linksausschlag des Instrumentes zur Folge. Umgekehrt schlägt das Meßgerät nach rechts aus, wenn F 2 heller, bzw. F 1 dunkler wird. Dies Verhalten bietet uns folgende Meßmöglichkeiten:

1. Vergleich von Farbdichten im graphischen Gewerbe,
2. Vergleich der Helligkeit zweier Lichtquellen,
3. Prüfung der Lichtdurchlässigkeit bei Filtern und Kunststoffen,
4. Oberflächenprüfung bei Holz, Metall, Kunststoff usw.

Für alle Messungen ist eines der beiden Fotoelemente mit dem Licht des Musters und das andere mit dem zu prüfenden Licht zu beleuchten.
Wenn die verwendeten Elemente elektrisch nicht gleich sind, ersetze man R 1 und R 3 durch ein einziges Potentiometer, dessen Schleifer dann an R 2 gelegt wird. Das Potentiometer ist dann so einzuregeln, daß Lichtschwankungen einen möglichst geringen Einfluß auf den Nullpunkt des Meßgerätes ausüben.
Schaltung: Der Verstärkerteil ist in Brücke geschaltet und wird mit zwei gleichen, gegenüber Masse symmetrischen Spannungen betrieben. Der linke Teil (T 1 und T 2) ist der eigentliche Verstärker, der rechte (T 3 und T 4) dient zur Kompensation bei Temperaturschwankungen. T 5 ist als Stromkonstantquelle geschaltet; er stabilisiert die Emitterströme von T 1 und T 4.
Bei beispielsweise positiver Eingangsspannung an T 1 zieht dieser einen größeren Kollektorstrom, wodurch die Spannung R 4 kleiner, also negativer wird. Folglich wird auch die Basis von T 2 negativer, was bei einem PNP-Typ einen höheren Stromanstieg bedeutet. An R 7 entsteht deshalb eine gegenüber R 10 negative Spannung, die von M angezeigt wird.
Umgekehrte Polarität der Eingangsspannung verursacht auch eine entgegengesetzte Polarität an R 7. Dann schlägt M in die andere Richtung aus.
Die Transistoren T 1 und T 4 sind in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht. Es handelt sich um den SGS-Duotransistor Typ 2 C 415.

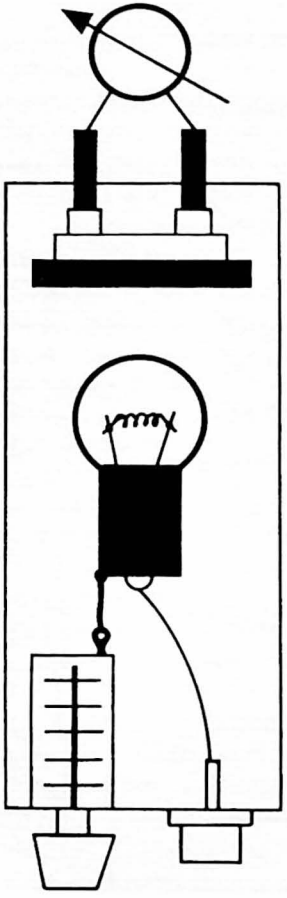
Stückliste zu Schaltung 22

Fotoelemente
F 1/F 2 Selen-Fotoelemente
(Electrocell, Berlin)
Widerstände
R 1 10 Ohm
R 2 1 kOhm
R 3 10 Ohm
R 4 82 kOhm/1 %
R 5 150 Ohm/1 %
R 6 10 kOhm
R 7 7,5 kOhm/1 %
R 8 10 kOhm
R 9 50 kOhm Potentiometer
R 10 7,5 kOhm/1 %
R 11 150 Ohm/1%
R 12 82 kOhm/1 %
R 13 1 kOhm
Transistoren
T 1 u. T 4 Doppeltransistor
2 C 415
T 2 V 435
T 3 V 435
T 5 C 450
(SGS-Fairchild)
Meßgerät
M 100-0-100 µA, Ri =
ca. 1 kOhm oder höher



Schaltung 23

HF-Wattmeter für KW und UKW



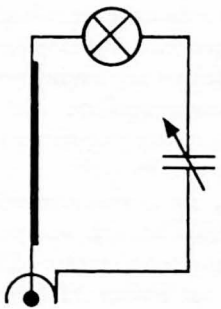
Das Messen der HF-Ausgangsleistung eines Senders ist für den Amateur meistens schwierig, denn präzise Wattmeter sind wegen des hohen Preises nur selten vorhanden. Normalerweise wird die Ausgangsleistung des Senders einem ohmschen Widerstand zugeführt, an dem dann die HF-Spannung gemessen wird. Diese Methode hört sich zwar recht einfach an, ist es aber nicht. Das Meßergebnis wird nämlich von vielen Faktoren beeinflußt, wie beispielsweise von der Kennlinie der Diode, der Induktivität und Kapazität des Widerstandes und von dem Stehwellenverhältnis in der Zuleitung (Koaxkabel).
Ein einfaches, ohne aufwendige Hilfsmittel eichbares Wattmeter zeigt Schaltung 23. Es kann für verschiedene Frequenzbereiche und Leistungen ausgelegt werden.

Arbeitsweise

Die HF-Ausgangsleistung wird einer Glühlampe zugeführt, die entsprechend der Eingangsleistung einen bestimmten Lichtstrom erzeugt. Daraufhin gibt das Fotoelement einen Fotostrom ab, der nun ein Maß für die HF-Leistung ist. Je nach Frequenzband wird die Lampe unterschiedlich gespeist bzw. angepaßt. Die beiden Varianten laut Schaltung a und b sollen deshalb einzeln beschrieben werden.

Schaltung a, UKW-Wattmeter

Üblicherweise werden fast alle UKW-Sender niederohmig ausgekoppelt, d. h., in dem Koaxkabel ist eine kleine Spannung und ein großer Strom. Es wäre denkbar, die Lampe direkt an das Koaxkabel anzuschließen, wenn der Fadenwiderstand annähernd gleich dem Wellenwiderstand des Kabels ist. Leider hat aber der Glühfaden wegen der Wendelung eine recht hohe Induktivität, die wie eine kleine Drossel wirkt und dadurch verhindert, daß die Lampe mit dem vollen Strom durchflossen wird. Das Ergebnis wäre also eine viel zu geringe Anzeige der tatsächlichen Leistung. Diesen Fehler kann man aber auf simple Weise kompensieren, indem man die Wendelinduktivität zusammen mit der Zuleitung und einem kleinen Drehkondensator als Serienschwingkreis schaltet. Ein Serienkreis wirkt wie ein Saugkreis und zwingt die HF-Energie förmlich dazu, durch den Wendel zu fließen. Infolge des ohmschen Fadenwiderstandes wird die Leistung jetzt völlig im Glühfaden verbraucht, und die Lampe leuchtet.
Der Drehkondensator gestattet ein Abstimmen des Serienkreises für verschiedene UKW-Frequenzen. Er sollte möglichst weit herausgedreht sein, um ein hohes L/C-Verhältnis zu erreichen.
Für das 2-m-Amateurband ergeben sich folgende Größen der Bauteile:
Lampe: 6 V/3 W bis 6 V/35 W (je nach Leistungsklasse)
Drehkondensator: Luftdrehkondensator (versilbert) 25 pF
Zuleitung: 3—4 cm, 2 mm ϕ (Buchse zur Lampe)
Frequenzbereich: ca. 110—160 MHz



Schaltung b, HF-Wattmeter für KW-Bänder

Bei Frequenzen bis 30 MHz kann die Induktivität des Glühfadens unberücksichtigt bleiben. Sofern man Sender messen will, die einen Pi-Filter-Ausgang besitzen, kann die Lampe direkt ohne Hilfsmittel angeschlossen werden. Für kleine Leistungen sind folgende Lampen geeignet:

bis 10 W = 24 V Lampen
bis 50 W = 60 V oder 110 V Lampen
bis 200 W = 220 V Lampen

Haben wir einen Sender mit fester Auskopplung, gleich ob hoch- oder niederohmig, so ist ein Pi-Filter zwischen Sender und Wattmeter zu schalten (siehe Abb. b). Es hat die Aufgabe, die richtige Anpassung zwischen Sender und Lampe herzustellen; dazu einige Beispiele.

Ist der Ausgang des Senders hochohmig, muß C 1 weit heraus- und C 2 mehr hineingedreht werden. Die Resonanzfrequenz wird grob mit der Spule bestimmt, der Feinabgleich auf maximale Helligkeit geschieht durch wechselseitiges Abgleichen der Drehkondensatoren.

Bei einem Sender mit niederohmigem Ausgang ist C 1 und C 2 weit hineinzudrehen und mit der entsprechenden Spule die Resonanzfrequenz zu suchen (Feinabgleich wieder an C 1 und C 2).

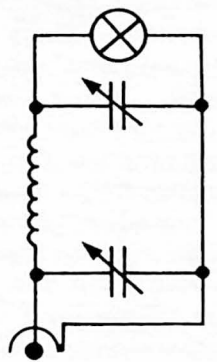
Die Stellung der Drehkondensatoren ist nicht nur von der Impedanz des Senders, sondern auch von der Frequenz des zu messenden Signales abhängig. So ist z. B. der Eingang (C 1) bei einem 3,5-MHz-Signal erst niederohmig, wenn die Kapazität etwa 1000 pF beträgt. Im 10-m-Bereich, also 30 MHz, wird die gleiche Impedanz bereits bei unter 100 pF erreicht.

Für den praktischen Aufbau können folgende Bauelemente verwendet werden:

C 1 und C 2: je 1 Drehkondensator 2 x 500 pF parallel,

Spule: 80 mm ϕ, 30 Wdg./1 mm ϕ mit Anzapfung bei jeder 3. Wdg. Die Anzapfungen werden auf einen summierenden Schalter gelegt, der den nichtbenutzten Spulenteil kurzschließt.

Mit einer solchen Spule können alle Frequenzen zwischen 3 und 30 MHz überstrichen werden.



Eichen

Zum Eichen der Skala benötigt man keinen Sender, sondern nur eine Gleich- oder Wechselspannung, die regelbar sein muß. Die Regelung kann auch mit einem Schiebewiderstand erfolgen, der der Lampe in Reihe geschaltet wird. Parallel zur Lampe liegt ein Voltmeter, in dem Lampenstromkreis ein Amperemeter.
Den Vorwiderstand regelt man nun so ein, daß die Lampe beispielsweise 1 Watt verbraucht. (Die Rechnung lautet: $P = U \times I$.) Der vom Instrument angezeigte Fotostrom ist dann auf der Skala mit 1 Watt zu markieren. Jetzt erhöhen wir die Spannung solange, bis die Lampe 2, 5, 10, 15, 20, 25 usw. Watt aufnimmt und markieren die Skala dementsprechend. Auf diese Art kann jede gewünschte Teilung durchgeführt werden.
Als Richtwert für die Empfindlichkeit des Meßgerätes empfehlen sich folgende Meßbereiche:
bis 1 W = 0,5 mA
bis 10 W = 1,5 mA
bis 50 W = 3 mA
bis 200 W = 5 mA

Schaltung 24

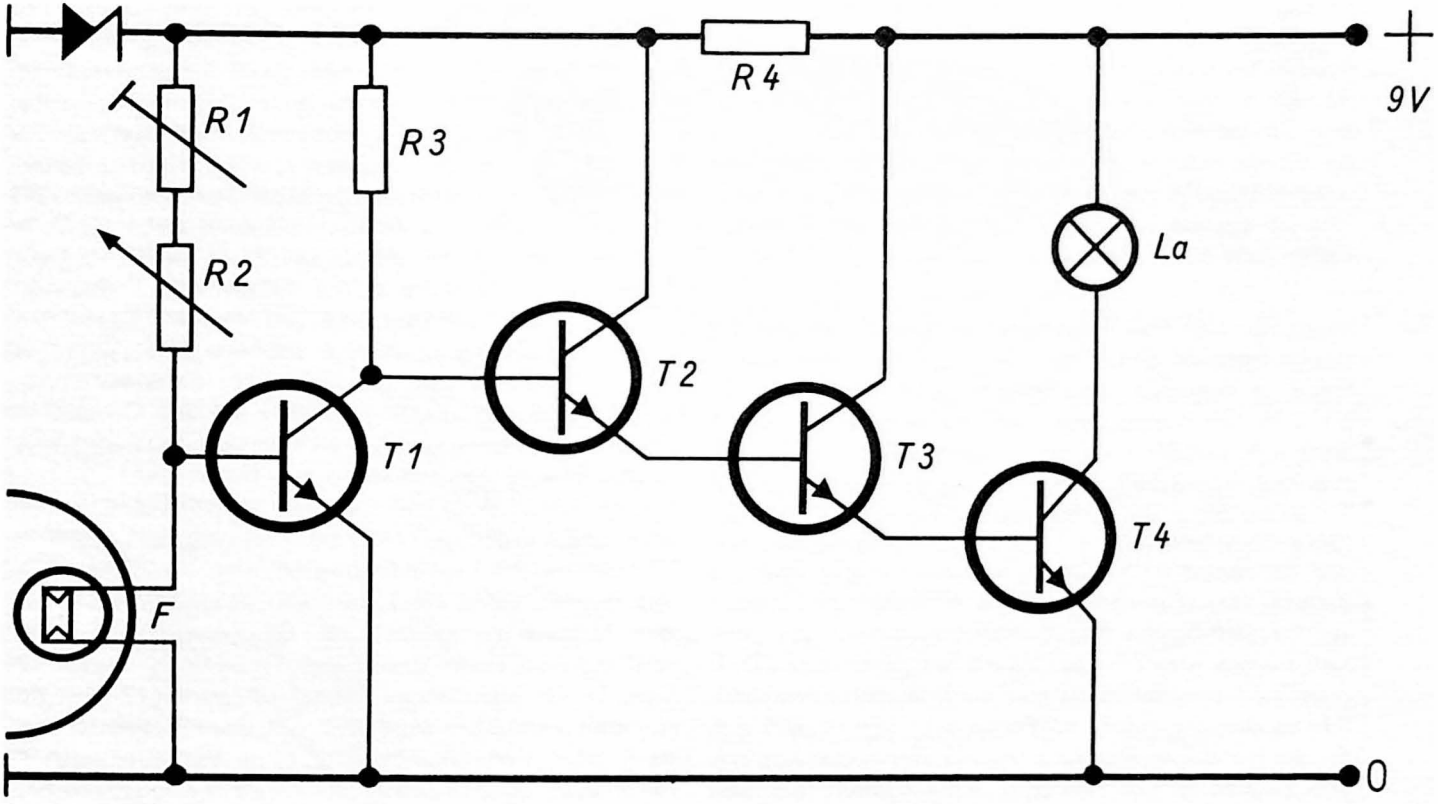
Infrarot-Spürgerät (IR-Peileinrichtung)

Anwendung: Dieses Gerät ermöglicht das Auffinden von Infrarotstrahlern in größerer Entfernung. Der IR-Detektor, ein Bleisulfid-Fotowiderstand, spricht auf sehr langwellige Strahlung an, etwa solche, die bei Temperaturen von 300—400 °C entstehen. Der Detektor ist im Brennpunkt eines Scheinwerferspiegels eingebaut. Die Größe des Spiegels bestimmt die Reichweite des Gerätes. Sie ist bei Verwendung eines Taschenlampenspiegels folgendermaßen ermittelt worden:
Die Strahlung einer Zigarette ist aus 20 m, die einer Zigarre aus 50 m Entfernung eindeutig nachzuweisen. Ein 50-W-Lötkolben kann aus 100 m, und die Strahlung einer 200-W-Glühlampe aus 250 m Entfernung ausfindig gemacht werden. Diese schon erstaunlichen Ergebnisse lassen sich um das 4—5fache steigern, wenn der Reflektor eines Autobusscheinwerfers verwendet wird, d. h., eine normale Glühlampe bzw. ein 150-W-Lötkolben ist aus ca. 1 km Entfernung feststellbar.

Die ausschließliche IR-Empfindlichkeit des PbS-Widerstandes erlaubt recht verblüffende Meßmöglichkeiten. So ist z. B. mit 100prozentiger Sicherheit von außen zu ermitteln, ob ein mit Vorhängen verdunkelter Raum mit einer Glüh- oder einer Leuchtstofflampe beleuchtet ist. Das Gerät zeigt nämlich nur die Strahlung einer Glühlampe an

Stückliste zu Schaltung 24

Fotowiderstand
F Bleisulfid-Fotowiderstand
Widerstände
R 1 500 kOhm Potentiometer
R 2 50 kOhm Potentiometer
R 3 27 kOhm
R 4 300 Ohm
Lampe
La 10 V/0,2 A
Transistoren
T 1 BFY 39/3 (ITT Intermetall)
T 2 BFY 39/2 (ITT Intermetall)
T 3 BFY 39/2 (ITT Intermetall)
T 4 BSY 54 mit Kühlstern (ITT Intermetall)
Zenerdiode
ZD Z 6 (ITT Intermetall)


R1
R2
R3
R4
9V
La
T1
T2
T3
T4
F
0

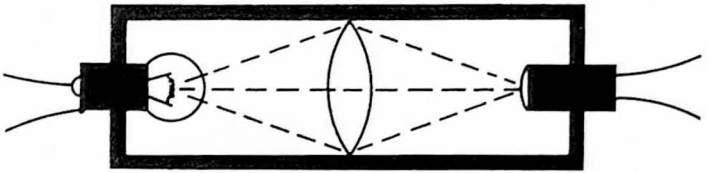
und nicht das kalte Licht der Leuchtstofflampen. Aus näherer Entfernung (ca. 20 m) sind die beiden Heizfäden der Leuchtstofflampe jedoch getrennt ausfindig zu machen.
Auf das Licht eines Fernsehbildschirmes spricht das Gerät nicht an, wohl aber auf die Strahlung des Heizfadens, bzw. auf die eingebauten Röhren.
An diesen wenigen Beispielen kann man ersehen, wie umfangreich das Anwendungsfeld einer solchen Schaltung ist. Gerade in finsterer Nacht lassen sich viele gestellte Ziele ausmachen.

Schaltung: Der PbS-Widerstand ist mit R 1 und R 2 als Spannungsteiler geschaltet. Die Spannung der Basis nimmt ab, wenn der Fotowiderstand bestrahlt wird. Mit R 1 wird der Arbeitspunkt aller Transistoren so eingestellt, daß die Lampe La schwach leuchtet.
Sobald F niederohmig wird, sinkt die Basisspannung von T 1, damit steigt die Kollektorspannung an R 3. Der folgende Stromverstärker T 2, T 3, T 4 zieht nun mehr Strom, und die Lampe wird heller. Um Rückwirkungen über die Batterie zu vermeiden, **muß** die Versorgungsspannung von T 1 und die des Fotowiderstandes unbedingt stabilisiert werden. Man erreicht dies mit der Zenerdiode ZD.
Bleisulfid-Fotowiderstände sind stark temperaturempfindlich. Es passiert gerade im Freien sehr schnell, daß sich der mit R 1 eingestellte Arbeitspunkt verschiebt. Aus diesem Grunde ist der Feinregler R 2 eingebaut, der, von außen bedienbar, jederzeit eine Nachregelung ermöglicht.

Optisch-elektronische Koppelglieder

Große Bedeutung erlangen fotoelektronische Koppelglieder in der Impuls- und Verstärkertechnik. Bekanntlich neigen hochempfindliche Verstärker leicht zu Eigenschwingungen, deren Ursache in der mangelnden Entkopplung von Ausgang zu Eingang liegt. Bei Verstärkungsfaktoren von über 100 000fach ist eine saubere Entkopplung nur noch sehr schwer oder gar nicht mehr zu erreichen. Bereits die geringen Spannungsabfälle auf dem Chassis, der Masse- oder Plusleitung führen sehr schnell zu Rückkopplungserscheinungen und damit zum Schwingen.
Abhilfe schafft dann nur noch eine vollkommene, galvanische und kapazitive Trennung innerhalb des gesamten Verstärkers. Als Verbindungsglied, bzw. zur Weiterleitung des Signals dient ein Lichtstrahl, dessen Intensität mit dem Nutzsignal moduliert ist. Das ausgesendete Licht wird nun von einem geeigneten Fotodetektor aufgenommen, in ein elektrisches Signal umgewandelt und dem weiteren Verstärker zugeführt. Auf diese Weise ist praktisch jeder Verstärkungsfaktor ohne Verkopplungen erreichbar — normalerweise aber wird die Empfindlichkeit eines Verstärkers schon vom Rauschen der Transistoren

oder Röhren schnell begrenzt, so daß man mit einer einzigen galvanischen Trennung immer auskommt.
Unter Berücksichtigung aller in der Elektronik vorkommenden Impulse, Schwingungen und Spannungen muß jedes Foto-Koppelglied in seinen typischen Eigenschaften auf den jeweiligen Anwendungsfall abgestimmt sein. Zunächst soll aber gezeigt werden, welche Lichtquellen und Lichtdetektoren grundsätzlich verwendet werden können.



Lichtgeber Lichtdetektor

Bauart	Grenzfrequenz
Glühlampe	ca. 0,5—20 Hz
Glimmlampe	ca. 50 kHz
Blitzlampe	max. 2—10 Blitze/s
Lichtdiode	10—100 MHz
Stroboskoplampe	max. 500 Blitze/s

Bauart	Grenzfrequenz
Fotowiderstand	ca. 20 Hz
PbS-Widerstand	ca. 10—100 kHz
Fotodiode	100 kHz
Se-Fotoelement	100 Hz
Fototransistor	3 kHz
Fotozelle (Gas)	15 kHz
Fotozelle (Vakuum)	100 MHz
Multiplier	50—100 MHz

Trotz der vielen Kombinationsmöglichkeiten lassen sich im Grunde nur drei in der Funktion unterschiedliche Koppelglieder aufbauen, und zwar:

1. Sehr träge Koppelglieder
Sie dienen zur Übertragung von langsamen Schaltimpulsen oder Wechselspannungen mit niedriger Frequenz (max. 10 Hz). Als Lampe ist ein Taschenlampenbirnchen gut geeignet, als Detektor ein Fotowiderstand. Bestechend an dieser Anordnung ist der hohe Wirkungsgrad und der geringe Preis der Bauteile. Aus dem Bereich der Anwendung seien folgende Beispiele genannt: Schalten von Kleinrelais, Regeln von Multivibratoren, RC-Generatoren und Verstärkern.

2. Mittelschnelle Koppelglieder,
bestehend aus Glimmlampe und Fotodiode. Sie können zur Übertragung mittelschneller Impulse und für Frequenzen bis zu 50 kHz verwendet werden. Durch den Einsatz einer Glimmlampe eignet sich das Koppelglied besonders für kombinierte Röhren/Transistor-Geräte. Anwendung: Übertragen von NF-Signalen, Triggerimpulsen und kurzen Steuerimpulsen.

3. Sehr schnelle Koppelglieder,
bestehend aus einer GaAs-Diode (Lichtdiode) und Fotozelle bzw. Multiplier. Diese Kombination wird vorzugsweise zum Übertragen von HF-Signalen bis 50 MHz verwendet. Eine Lichtdiode arbeitet nahezu trägheitsfrei und ist daher für hohe Frequenzen bestens einzusetzen. Als Detektor kann, wenn die maximale Übertragungsfrequenz nicht über 100 kHz liegt, auch eine Fotodiode benutzt werden. Anwendung: Rückwirkungsfreies Auskoppeln von HF-Oszillatoren, Übertragen von Video- oder NF-Signalen.

Jeder Band ein Gewinn für Beruf und Freizeit: Er bietet dem Nachwuchs und dem Amateur das Rüstzeug zum Verständnis elektronischer Vorgänge und zum Aufbau von Schaltungen. Er gibt dem Fachmann darüber hinaus wertvolle Informationen. Der Stoff ist frei von allem Ballast — klar und lebendig dargeboten. Der Leser gewinnt nebenbei ein solides Wissen um die Grundlagen der Elektronik
Verlag Frech
Stuttgart-Botnang
80 Seiten
61 Zeichnungen
DM 6,80
Bergtold
Elektronik-
Bauelemente

Inhalt des Bandes »Foto-Widerstände«

Vorwort 7
Das Licht 9
Linsensysteme für Lichtschranken und Meßgeräte 12
Fotowiderstände 22
Technische Daten verschiedener Typen 28
Schaltgeräte für Gleichlicht 32
Einfachstes Lichtrelais 32
Lichtrelais mit einstufigem Transistorverstärker 33
Hellschaltung mit Transistorverstärker 34
Lichtrelais mit dreistufigem Transistorverstärker 36
Hellschaltung mit Kaltkatoden-Schaltröhre 38
Dunkelschaltung mit Kaltkatoden-Schaltröhre 40
Lichtrelais mit Impulsspeicherung 42
Schaltpunktgenaues Lichtrelais mit Schmitt-Trigger 44
Relaislose Lichtschranke mit Thyristor 46
Schaltgeräte für Impulslicht 48
Lichtimpulsrelais mit Vierschichtdiode 48
Lichtimpulsrelais mit Transistorverstärker 50
Schaltgeräte für Wechsellicht 52
Lichtgeber 52
Lichtblitzempfindlicher Schalter mit Schaltröhre 54
Wechsellicht-Schaltgerät mit Transistoren 56
Selektives Wechsellicht-Schaltgerät mit Trafo-Kopplung 58
Wechsellicht-Schaltgerät mit Schaltröhre 60
Wechsellicht-Schaltgerät mit Glimm-Thyratron 62
Helligkeitsvergleichsschaltungen für Gleichlicht 64
Fotowiderstandsbrücke für Vergleichsmessungen 65
Helligkeitsvergleichsschaltung 66
Bauvorschlag: Meßgerät für lichttechnische Versuche 68
Helligkeitsvergleichsmeßgerät 72
Helligkeitsvergleichs-Schaltverstärker 74
Modulationsschaltungen 76
Lichtblitzempfindliche Lichtschranke 79
Elektronische Sirene 82
Der Fotowiderstand in der Radiotechnik 84

Inhalt des Bandes »Fotozellen«

Einleitung 7
Hochvakuum-Fotozellen 9
Gasgefüllte Fotozellen 13
Fotovervielfacher 15
Technische Daten 19
UV-Schaltröhren 22
Lichtempfindliche Schaltgeräte 24
Schnelles Lichtrelais mit Transistoren 26
Alarmanlage 28
Dämmerungsschalter mit Verzögerung 30
Kombinierte Zähl- und Überwachungsanlage 32
Füllstandregelung mit 2 Lichtschranken 34
Breitbandige Lichtschranke für Wechsellicht 36
Selektives Wechsellicht-Schaltgerät 38
Empfindliches Schaltgerät für Farbdichtekontrolle 40
Schneller Schaltverstärker für Farbsortierungen 42
Differential-Fotometer 46
Trübungsanzeiger 48
Lichtmengen-Schaltgerät mit Transistoren 50
Netzbetriebenes Lichtmengen-Dosiergerät 52
Infrarot Grenzwertschalter für Temperaturüberwachungen 54
Höchstempfindlicher Lichtempfänger mit Foto-Multiplier 56
Breitband-Fotoverstärker mit RCA-Multiplier 58
Lichtempfänger für NF-moduliertes Licht 60
Universeller Fotoverstärker für moduliertes Licht mit Feldeffekt-Transistoren 62
Flammenüberwacher mit UV-Schaltröhre und Glimm-Thyratron 64
Flammenwächter mit UV-Schaltröhre 66
UV-Schaltgerät mit Transistorverstärker 68
Netzgeräte für Fotozellen-Schaltungen 70
Netzgeräte für Transistorbestückte Fotozellengeräte 72
Universales Experimentiernetzteil für röhrenbestückte Fotozellengeräte 74
Netzgerät für Fotovervielfacher 76

Foto-Elektronik

Verlag Frech
7000 Stuttgart-Botnang

Verlag Frech
7 Stuttgart 1

1 30 Transistor-Schaltungen
2 35 Transistor-Schaltungen
3 36 Transistor-Schaltungen
4 Meßgeräte mit Transistoren
5 Transistoren — neu angewandt
6 37 Transistor-Schaltungen
7 Schaltungen mit Thyristoren
8 Fernsteuerschaltungen
9 NF-Verstärker
10 38 Transistor-Schaltungen
11 Kleines Praktikum der Antennenverstärker
12 Schaltungen mit Fotowiderständen
13 Schaltungen mit Fotozellen
14 Schaltungen mit Fotohalbleitern
15 Schaltungen der Digital-Elektronik
16 Sonderschaltungen der NF-Technik I
17 Sonderschaltungen der NF-Technik II
18 Schaltungen mit dem Thyratron PL 21

Jeder Band ca. 80 Seiten, 30 Zeichnungen — Wir schicken Ihnen gerne kostenlos ein Verzeichnis aller in dieser Reihe veröffentlichten Schaltungen

19 Schalten und Verstärken mit Transistoren
20 Messungen an Halbleitern
21 Auto-Elektrik
22 Relaisschaltungen
23 Experimente mit integrierten Schaltungen
24 Netzgeräte-Berechnungen
25 Neue Halbleiter
26 Moderne Bauelemente
27 Transistor-Tasten
28 Minispione
29 Stabilisierungsschaltungen
30 Integrierte Schaltungen
31 Impulsschaltungen
32 Dioden und Gleichrichter
33 Schwingkreistabellen
34 Oszillografie
35 Stereo
36 Elektroakustik
37 Warngeräte
38 Tunneldioden
39 Netzgeräte-Baubuch
40 Elektronik-Bauelemente 1
41 Elektronik-Bauelemente 2
42 Elektronik-Bauelemente 3
43 Elektronik-Bauelemente 4

TOPP »Elektronik«

Der Metallschweißer aus der Tube

(UHU-plus oft besser als Löten, Nieten, Schrauben, Schweißen!)

UHU-plus klebt nicht nur Stahl auf Stahl oder Aluminium auf Eisen. Es „verschweißt" praktisch alles unlösbar mit- und untereinander. Von Buntmetallen bis zu gehärteten Kunststoffen. Von Bakelit bis zu Porzellan. Die Festigkeit der Klebung beträgt max. 300 kg pro cm². Ein Plus um die verschiedensten Werkstoffe bombenfest zu verbinden.

UHU plus®

UHU-Werk H. u. M. Fischer,
758 Bühl (Baden)

Von Jahr zu Jahr gewinnt die Elektronik in der Industrie und in den technischen Bereichen des Lebens immer mehr an Bedeutung. Es ist deshalb nicht verwunderlich, daß die Konstrukteure nach Wegen suchen, die Elektronik mit anderen physikalischen Erscheinungsformen zu kombinieren, um dadurch neue Anwendungsbereiche zu erschließen. Einer dieser Wege ist der Einbezug des Lichtes in die Elektronik. Die drei Bände: „Schaltungen mit Fotowiderständen", Schaltungen mit Fotozellen" und „Schaltungen mit Fotohalbleitern" sind für den Amateur-Elektroniker geschrieben, der sich bisher mit der herkömmlichen Radiotechnik befaßt hat. Er kann damit seine Kenntnisse theoretisch und im Experiment auf das Gebiet der Fotoelektronik ausdehnen.

TOPP

Strahlungsphysikalische Größen	Einheit	Lichttechnische Größen	Einheit
Strahlungsmenge	W · s	Lichtmenge	lm · s
Strahlungsfluß	W	Lichtstrom	lm
Strahlstärke	W/sr	Lichtstärke	lm/sr = cd
Strahldichte	W/sr · cm²	Leuchtdichte	lm/sr · cm² = sb
Bestrahlungsstärke	W/m²	Beleuchtungsstärke	lm/m² = lx

Fotometrisches Strahlungsäquivalent: $K_{max} = 680$ lm/W

Emissionsmax. für Schwarzen Strahler: $\lambda_{max} \approx 2900\ \mu m \cdot {}^0K/T$

Leuchtdichteeinheiten	cd/m²	sb	asb	cd/ft²	cd/in²
1 cd/m² = 1 nit	1	10^{-4}	π	$9{,}29 \cdot 10^{-2}$	$6{,}45 \cdot 10^{-4}$
1 sb = 1 cd/cm²	10^4	1	$\pi \cdot 10^4$	929	6,45
1 asb = 10^{-4} L	$1/\pi$	$1/(\pi \cdot 10^4)$	1	$2{,}96 \cdot 10^{-2}$	$2{,}05 \cdot 10^{-4}$
1 cd/ft² = π fL	10,8	$1{,}08 \cdot 10^{-3}$	33,82	1	$6{,}94 \cdot 10^{-2}$
1 cd/in² = 144 cd/ft²	1550	0,155	4869	144	1

Beleuchtungsstärkeeinheiten

1 lx = 0,093 fc = 10^{-4} ph

10,8 lx = 1 fc = $1{,}08 \cdot 10^{-3}$ ph

10^4 lx = 929 fc = 1 ph